

Amélioration des techniques de reconstitution en espèces feuillues de la forêt méditerranéenne

par Thierry SARDIN , Christine ARGILLIER et Philippe BOURDENET

Le reboisement est une des techniques de reconstitution possible de la forêt méditerranéenne, notamment après incendie. Si les techniques d'installation des résineux sont aujourd'hui bien maîtrisées, celles concernant les feuillus sont moins connues. Cette étude, à partir de dispositifs expérimentaux mis en place au début des années 1990, permet de tirer les premiers enseignements sur l'installation des plants feuillus.

La reconstitution de la forêt méditerranéenne après incendie a pendant longtemps consisté en des reboisements de résineux (Cèdre, Pin d'Alep et Pin pignon essentiellement). Grâce aux recherches effectuées dans les années 1980 et aux progrès qui en ont découlé sur les techniques d'installation, ce type de reboisement ne pose plus vraiment de problème aujourd'hui.

Depuis plusieurs années, les forestiers méditerranéens cherchent à introduire une proportion de feuillus (10 à 20 % le plus souvent) dans leurs reboisements. L'application des techniques recommandées pour les résineux et mises au point dans les années 1980 (notamment en terme de qualité des plants), donne des résultats très décevants avec les feuillus.

C'est pourquoi des dispositifs expérimentaux ont été mis en place au début des années 1990 pour essayer de trouver des solutions techniques permettant d'améliorer la reprise et la croissance des plants feuillus installés en région méditerranéenne basse (étages de végétation thermoméditerranéen et mésoméditerranéen inférieur).

Présentation générale des essais

Cet article fait la synthèse des résultats obtenus sur huit dispositifs expérimentaux installés en région méditerranéenne française par le Cemagref (Groupement d'Aix-en-Provence, Unité de Recherche Agriculture et Forêt Méditerranéennes) et la Section technique interrégionale Méditerranée (STIR) de l'Office national des forêts. Ces essais ont été installés entre 1991-92 et 1994-95. Ils ont donc maintenant plusieurs années d'existence et fournissent déjà des résultats utilisables, puisque leurs objectifs sont centrés sur l'amélioration de l'installation des peuplements, dont la phase couvre les cinq premières années.

Les essences utilisées

L'essence la plus souvent utilisée dans ces huit essais est le Chêne pubescent (*Quercus pubescens* Willd), présent dans cinq d'entre eux. Pour les trois autres, on retrouve à chaque fois une essence différente : le Chêne vert (*Quercus ilex* L.), le Frêne à fleurs (*Fraxinus ornus*) et le Micocoulier (*Celtis australis* L.). Ce choix a été dicté par les pratiques des gestionnaires qui privilégiaient ces espèces. Les résultats qui suivent mettent l'accent sur l'amélioration possible des

Tab. I :
Répartition des essais par facteur étudié

techniques ; ils n'ont pas valeur de conseil en ce qui concerne le choix des essences étudiées ici et dont l'utilisation en reboisement serait conseillée.

Les facteurs étudiés

Les facteurs étudiés sont de deux catégories : l'une porte sur le type de matériel végétal (graine, plant en godet de volume variable ou plant à racines nues), l'autre sur l'utilisation d'accessoires ou de techniques d'entretien susceptibles d'améliorer les performances du reboisement (paillage, abri-serre, binage). La répartition des dispositifs expérimentaux par facteur étudié figure dans le tableau I (ci-dessous).

Pour plus de détails sur ces modalités, lire l'encadré (page ci-contre).

Lorsque la présence d'un abri-serre est étudiée, il s'agit soit d'un modèle de 1,20 m de hauteur (essais 1, 2 et 3), soit d'un modèle de 0,60 m (essai 5) qui est comparé à un témoin sans abri.

Un seul modèle de paillage (film plastique à 3 couches, carré de 0,36 m²) a été testé dans les essais 1, 2 et 3, alors que trois modèles (plastique tressé, carré de 0,25 m² ; fibre de bois, carré de 0,36 m² ; polypropylène, hexagonal de 0,32 m²) ont été comparés à un binage de printemps (les deux premières années après plantation) et à un témoin sans intervention dans l'essai n° 8.

N° essai	Nom de l'essai (Département)	Essence	Matériel végétal : modalités étudiées	Facteurs étudiés	Abri-serre étudié	Paillage étudié	Binage étudié
1	FD La Gardiole (Bouches-du-Rhône) n°1	Chêne pubescent	graine, racines nues ⁽¹⁾ , conteneurs de 2700 cm ³	oui (avec/sans)	oui (avec/sans)	non	
2	FD La Gardiole (Bouches-du-Rhône) n°2	Chêne vert	graine, racines nues ⁽¹⁾ , conteneurs de 2700 cm ³	oui (avec/sans)	oui (avec/sans)	non	
3	FD La Gardiole (Bouches-du-Rhône) n°3	Frêne à fleurs	racines nues, conteneurs de 800 cm ³	oui (avec/sans)	oui (avec/sans)	non	
4	FD Sainte Baume (Var) n° 1	Chêne pubescent	graine, racines nues, conteneurs de 600, 800 et 900 cm ³	non (absent)	non (absent)	non	
5	FD Sainte Baume (Var) n° 2	Chêne pubescent	graine, conteneur de 600 cm ³	oui (avec/sans)	non (absent)	non	
6	FC de Montaren (Gard)	Chêne pubescent	conteneurs de 800 et 900 cm ³	non (absent)	non (absent)	non	
7	FC de Fontarèches (Gard)	Micocoulier	racines nues (deux types) conteneurs de 500 et 800 cm ³	non (absent)	non (présent)	non	
8	FC de Nîmes (Gard)	Chêne pubescent	conteneurs de 400 cm ³	non (absent)	oui (3 types)	oui	

(1) Modalité présente seulement dans 2 blocs sur 6. FD = forêt domaniale ; FC = forêt communale

Les stations forestières

Si tous les essais se trouvent sur substrat calcaire, leur situation bioclimatique est très variable, allant de l'étage thermoméditerranéen sur lithosol à l'étage mésoméditerranéen sur ancienne terre agricole profonde. Les petites régions naturelles concernées, telles qu'elles ont été définies par le Cemagref, figurent dans le tableau II (Cf. aussi la carte de localisation, figure 1, page 455). Les caractéristiques climatiques et stationnelles des différents essais figurent au tableau III, page suivante. Tous les dispositifs

ont été installés après la réalisation d'un travail du sol profond par sous-solage.

Types de dispositifs

Les huit dispositifs expérimentaux sont en blocs complets avec un minimum de 3 et un maximum de 6 répétitions.

Chaque unité expérimentale est composée de 25 à 40 plants mesurés, sans zone de bordure. Au sein d'un bloc, zone considérée comme homogène et sur laquelle toutes les modalités sont présentes, les plants de

Description des modalités de matériel végétal testées dans les différents dispositifs - Intérêt de ces modalités

Semis : il s'agit d'un semis direct réalisé soit sur potet mécanique soit sur un potet manuel après sous-solage à raison de trois glands par potet. Les glands sont protégés des petits rongeurs, selon la technique préconisée par le Cemagref, en les enterrant légèrement sous un carré de grillage métallique. Sauf pour le traitement semis avec abri-serre de l'essai n° 5 où la protection est assurée en enterrant de 5 cm la base de l'abri-serre et recouvrant les glands de 3 cm de terre.

Le semis direct est une technique sur laquelle beaucoup d'espoirs sont fondés. En effet, l'échec des plantations est souvent mis sur le compte des contraintes du godet sur le développement des racines, et notamment du pivot pour les chênes. Ce pivot, qui peut se développer très rapidement si les conditions sont favorables, voit sa taille limitée à la hauteur du godet lors de l'élevage en pépinière. Sans contraintes, le pivot des semis directs pourrait atteindre rapidement les couches profondes du sol et améliorer la survie et la croissance juvénile. Par contre, il n'est pas attendu d'avantage financier de cette technique, celle-ci coûtant seulement dix pour cent de moins environ qu'une plantation classique (le coût de fourniture des plants). En effet, elle nécessite une préparation du sol équivalente à celle d'une régénération artificielle par plant ainsi qu'une mise en place soignée et coûteuse des graines et de leur protection contre les rongeurs.

Plants en godet : ce sont toujours des plants en godets (type WM) élevés à la Pépinière administrative des Milles avec un substrat tourbe-compost d'écorce (50 % / 50 %). Ils diffèrent entre eux par leurs dimensions, hauteur ou section :

Volume testé	600 cm ³	800 cm ³	900 cm ³	2 700 cm ³
Hauteur	20 cm	20 cm	30 cm	27 cm
Section	30 cm ²	40 cm ²	30 cm ²	100 cm ²

Ces différentes modalités permettent de voir s'il y a un effet du volume du conteneur mais aussi de la forme de celui-ci. Les deux modèles 800 et 900 cm³ ont en effet un volume très proche à partir de dimensions très différentes. Avec celui de 900 cm³, godet le plus haut, on cherche à voir si la mise en place d'un plant avec un pivot beaucoup plus long améliore les performances du plant par rapport au godet de 600 cm³. Celui de 800 cm³ permet d'analyser l'effet d'une augmentation de la section. Des études sur les conteneurs avaient en effet montré que les performances augmentaient avec la section des godets. Cet effet pourrait être lié à l'augmentation du diamètre au collet des plants élevés dans des conteneurs plus larges, du fait déjà d'une densité d'élevage plus faible.

Le volume de 2 700 cm³, même si son utilisation en gestion est difficile à envisager (coût du plant et de sa mise en place), permet de pousser les investigations à l'extrême et de voir si un très grand volume améliore la reprise et la croissance.

Plants à racines nues : il s'agit de plants élevés en planche sur substrat artificiel (identique à celui utilisé pour les plants en godets, c'est-à-dire un mélange de tourbe-compost d'écorce, noté RN planche dans la suite de l'article) de 40 cm d'épaisseur. L'une des critiques faite aux conteneurs étant leur influence néfaste sur le développement du système racinaire, cette modalité permet d'obtenir des plants subissant des contraintes beaucoup plus faibles. Ces plants sont mis en place avec le substrat restant solidaire des racines lors de leur arrachage pour éviter tout traumatisme.

Dans l'essai n° 7, une deuxième modalité de plants à racines nues a été testée. Il s'agit de plants élevés en plein champ, notés RN plein champ dans la suite de l'article (terre argileuse avec incorporation d'un aérateur sous forme d'écorce compostée). Cette technique s'avère plus réaliste pour la région méditerranéenne où aucun pépiniériste privé ne produit de plants sur planche.

N° de l'essai	Nom de la Petite région	Type climatique			Etage de végétation (Godron)	Relief	Roche
		Pluie totale	Pluie d'été	Température			
1, 2, 3	Chaînons calcaires littoraux	très faible	très faible	doux à très chaud	-	collines	calcaire dur
4, 5	Chaînons calcaires méridionaux, versant nord	assez abondante	très faible	assez chaud à chaud	-	hautes collines	calcaire dur
6, 7	Garrigues de Lussan	assez abondante	assez abondante	chaud	mésoméditerranéen inférieur	plateau	calcaire dur
8	Garrigues nîmoises	faible	faible	chaud	mésoméditerranéen inférieur	plateau collines	calcaires durs et marneux

Tab. II :
Petites régions naturelles dans lesquelles se trouvent les essais

chaque unité expérimentale sont soit groupés (essais 4, 5, 6 et 7), soit disposés un par un en mélange selon une fréquence fixe (essais 1, 2, 3 et 8).

Les données ont été traitées par analyse de variance (logiciel STATITCF). Le seuil de significativité retenu dépend du risque que l'on souhaite prendre. Nous l'avons choisi en fonction du facteur étudié. Avec le matériel végétal, nous avons considéré que le risque pouvait être faible, les coûts de mise en

œuvre des différentes modalités étant similaires (ce qui n'est pas tout à fait exact pour les plants en godet de 2 700 cm³, c'est pourquoi la probabilité est dans tous les cas mentionnée). Nous avons alors pris un seuil de 10 %. Avec les modalités des autres facteurs, les surcoûts pouvant être élevés, nous avons retenu un seuil de significativité de 5 % (diminution du risque de dire que les modalités sont différentes, et d'inciter les gestionnaires à les mettre en pratique, alors qu'elles ne le sont pas).

CLIMATOLOGIE						
N° Essai	Pluie totale (station de référence)	Pluie d'été (station de référence)	Tmoy annuelle	m*	M**	Nb de mois secs selon Gaussem
1	677 mm	78 mm	14,9 °C	3 °C	30,8 °C	2 à 3
2			(Station de Cassis, altitude 50 m)			
3	moyennes 1963 à 1992			moyennes 1973 à 1992		
4	950 mm	112 mm	10,4 °C	-	-	1 à 2
5			(Station de la Maison Forestière des Béguines, altitude 680 m)			
	moyennes 1962 à 1990			moyennes 1961 à 1980		
6	912 mm	163 mm	13,8 °C	1,5 °C	29,9 °C	1
7	(station de Lussan altitude 226 m)		(station d'Uzès, altitude 138 m)			
	moyennes 1951 à 1980			moyennes 1971 à 1980		
8	730 mm	111 mm	14,3 °C	2,3 °C	29,8 °C	2
			(Station de Nîmes, altitude 59 m)			
	moyennes 1951 à 1980			moyennes 1971 à 1980		

Tab. III :
Caractéristiques climatiques et stationnelles des différents essais

* m : moyenne des minima du mois le plus froid (janvier)

*** M : moyenne des maxima du mois le plus chaud (juillet)

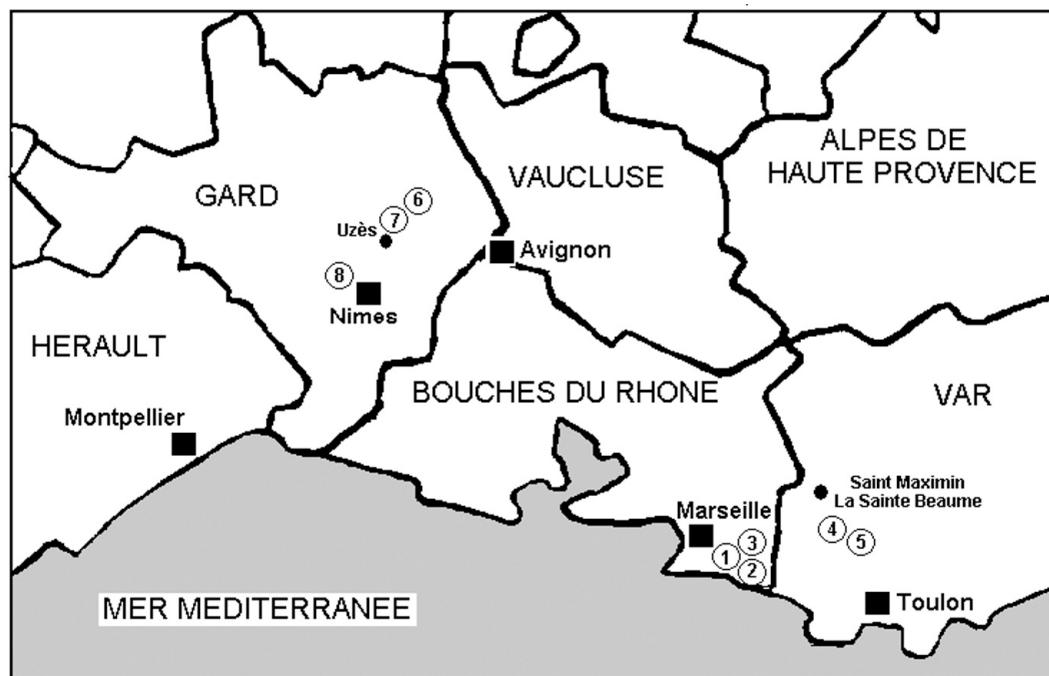


Fig. 1 :
Localisation
des dispositifs
expérimentaux étudiés

GEOMORPHOLOGIE				
Altitude	Topographie	Pente	Géologie	Substrat
≈ 200 m	Pour les 3 essais : thalweg (bloc 1) doline (blocs 4 et 6), anciennes terrasses (bloc 2), ancien pré (bloc 3)	0 à 10 %	Calcaire dur	Epais colluvium plus ou moins carbonaté
≈ 500 m	Replat sur grand versant nord	0 à 10 %	Calcaire dolomitique (essai n°4) Calcaire marneux (n°5)	Colluvium mince sur altérite décarbonaté (n°4) Colluvium très carbonaté (n°5)
≈ 270 m	Doline (n°6) Plateau (n°7)	0 à 10 %	Calcaire dur	Altérite épais (n°6) Colluvium (n°7)
150 m	Plateau (blocs 1 et 5)	0 à 30 %	Calcaire dur	Lithosol (blocs 2, 3, 4) Altérite avec sol fersialitique humidifié (blocs 1, 5)

Entre parenthèses
sont notés les numéros
des essais

Tab. IV :

Taux de survie
selon le matériel végétal

(1) RN = plants à racines nues, la modalité racines nues n'est présente que sur 2 blocs sur les 6.

L'analyse de variance porte sur les 6 blocs avec seulement deux modalités.

Essai n° 1 : Chêne pubescent après 5 années

Modalités	Taux de survie (%)	
Godet 2 700 cm ³	95	A
Semis (RN planche)	58 (52) ⁽¹⁾	B
Effet traitement	*** Proba < 0,001	

Essai n° 4 : Chêne pubescent après 6 années

Modalités	Taux de survie (%)	
Godet 900 cm ³	68	A
Godet 800 cm ³	57	A
Godet 600 cm ³ (RN planche)	74	A
Semis	52	B
Effet traitement	41 * Proba = 0,056	

Essai n° 2 : Chêne vert après 5 années

Modalités	Taux de survie (%)	
Godet 2 700 cm ³	94	A
Semis (RN planche)	50 (14) ⁽¹⁾	B
Effet traitement	*** Proba < 0,001	

Essai n° 6 : Chêne pubescent après 6 années

Modalités	Taux de survie (%)	
Godet 800 cm ³	90	A
Semis	54	B
Effet traitement	*** Proba < 0,001	

En cas de différence significative, les modalités ont été hiérarchisées par le test de Newman-Keuls. Ainsi, les chiffres d'une même colonne suivis par des lettres différentes dans les tableaux sont significativement différents au seuil de 5 % selon le test de Newman-Keuls.

Lorsqu'il n'existe pas de différence significative au seuil de 5 % retenu, la puissance de notre dispositif a été calculée pour détecter une différence entre les modalités avec un risque de 10 %. Cette différence a été choisie en fonction de la variable étudiée. Si cette puissance est supérieure à 50 %, alors les modalités sont considérées comme équivalentes.

Lorsque l'analyse de variance n'a pas été réalisée à cause du non respect des hypothèses statistiques nécessaires, nous avons mentionné "pas d'analyse" dans les tableaux correspondants.

Résultats

Les résultats sont d'abord présentés, pour chaque facteur étudié, toutes modalités confondues pour les autres facteurs éventuels. Ensuite, les interactions entre facteurs sont abordées.

Effets du matériel végétal utilisé

Taux de reprise ou de survie

(Pour les semis, il s'agit de la proportion des potets avec au moins un plant)

Sur ces dispositifs, le taux de reprise du semis direct est toujours significativement inférieur à celui des plants en godet, quel que soit le volume de ce dernier (Cf. Tab. IV, ci-dessus). Les plants à racines nues semblent avoir une reprise médiocre, voire mauvaise dans le cas du Chêne vert.

Lorsque plusieurs volumes de conteneur sont comparés entre eux, aucune différence significative dans le taux de survie n'a pu être mise en évidence. C'est le cas de l'essai n° 4 dont les résultats figurent dans le tableau IV, mais aussi de l'essai n° 7 avec du Micocoulier (taux de survie supérieur à 95 % pour toutes les modalités) et de l'essai n° 6 avec du Chêne pubescent (taux de survie de 65 % pour les 900 cm³ et de 66 % pour les 800 cm³).

Croissance en hauteur

Dans le tableau V (page suivante) figurent l'accroissement cumulé en hauteur (noté Acc. H. (i) où i est la durée de la période en saisons de végétation) et la hauteur totale des

Essai n° 1 : Chêne pubescent après 5 années (en cm)

Modalités	Acc. H. (5)	H. Tot.
Godet 2 700 cm ³	60,0	84,7
Semis	26,2	26,2
(RN planche)	(20,1)	(46,1)
	Pas d'analyse	***
Effet traitement		Proba < 0,001

Essai n° 2 : Chêne vert après 5 années (1) (en cm)

Modalités	Acc. H. (5)	H. Tot.
Godet 2 700 cm ³	69,3	A
Semis	19,9	B
(RN planche)	(2)	

Effet traitement		Proba < 0,001
		Proba < 0,001

Essai n° 3 : Frêne à fleur après 5 années (en cm)

Modalités	Acc. H. (5)	H. Tot.
Godet 2 700 cm ³	91,0 A	114,3 A
(RN planche)	89,9 A	102,9 B

Effet traitement	Proba > 0,20	Proba < 0,001

Essai n° 4 : Chêne pubescent après 6 années (en cm)

Modalités	Acc. H. (5)	H. Tot.
Godet 900 cm ³	-1,8	C
Godet 800 cm ³	2,3	B
Godet 600 cm ³	-2,3	C
(RN planche)	-1,6	C
Semis	5,4 A	
		**
Effet traitement		Proba < 0,01
		Proba < 0,01

Essai n° 5 : Chêne pubescent après 6 années (en cm)

Modalités	Acc. H. (5)	H. Tot.
Godet 800 cm ³	8,7 A	27,6
Semis	7,0 B	15,2
	*	***
Effet traitement	Proba < 0,10	Proba < 0,001

Essai n° 6 : Chêne pubescent après 6 années (en cm)

Modalités	Acc. H. (6)	H. Tot.
Godet 900 cm ³	32,0	53,9
Godet 800 cm ³	26,0	51,8
	NS	NS
Effet traitement	Proba = 0,20	Proba = 0,50

Essai n° 7 : Micocoulier pubescent après 7 années (en cm)

Modalités	Acc. H. (7)	H. Tot.
RN planche	21,8	76,3 A
Godet 800 cm ³	27,5	67,9 B
Godet 600 cm ³	24,6	56,8 C
RN plein champs	30,5	60,4 B C
	Pas d'analyse	***
Effet traitement		Proba < 0,001

Tab. V :

Hauteur totale et croissance en hauteur selon le matériel végétal

(1) Résultat sur 5 blocs, le 6^e étant abandonné pour cause de vandalisme

(2) Survie trop faible

Modalités	Mortalité en 2 ^e année	
Témoin	11	A
Plant biné	20	B
Paillage polypropylène	8	A
Paillage fibre de bois	12	A
Paillage plastique tressé	9	A
	**	
Effet traitement	Proba < 0,01	

Tab. VI :
Mortalité
des chênes pubescents
de l'essai n°8

plants lors de la dernière mesure (noté H. tot.).

Avec les Chênes, la hauteur totale des semis est toujours significativement inférieure à celle des plants produits et plantés en godet. En terme d'accroissement, le résultat est similaire, sauf pour l'essai n° 4 où les semis ont une croissance certes très faible durant les cinq dernières années ($\pm 1 \text{ cm/an} !$) mais néanmoins supérieure à celle de tous les types de plants. Ce comportement différent s'explique probablement par l'absence d'abri-serre. Nous reviendrons sur l'interaction matériel végétal / abri-serre plus loin.

On constate que les performances du Chêne pubescent en godet sont largement supérieures dans l'essai n° 1 que dans les essais n° 4, 5 et 6. Les conditions édaphiques plus favorables de l'essai n° 1 par rapport à celles des essais n° 4, 5 et 6 expliquent en partie ces résultats. En effet, les semis croissent également mieux dans l'essai n° 1 que dans l'essai n° 5. Mais le grand volume du godet utilisé dans l'essai n°1, 2 700 cm³, explique aussi certainement ces meilleures performances.

Les essais n° 4, 5 et 6 ne permettent pas tous de hiérarchiser entre eux les différents volumes ou sections de conteneur par rapport à la hauteur totale des plants.

En revanche, on remarque dans l'essai n° 4 que l'accroissement cumulé sur les cinq dernières années des plants produits dans le conteneur de 800 cm³ est supérieur à celui des plants produits dans les deux autres modèles de conteneurs (600 et 900 cm³). Même si les valeurs sont extrêmement faibles, cet effet pouvant être attribué à la section est intéressant. Il permet de conseiller le choix de conteneur à plus forte section pour un volume donné.

Sur l'essai n° 6, les deux types de conteneur ne se distinguent pas entre eux et sont

équivalents (le dispositif est suffisamment puissant pour détecter une différence de 3 cm/an).

L'effet éventuel de la section se retrouve avec les Micocouliers de l'essai n° 7 avec une différence sur la hauteur totale après 7 ans entre les godets de 600 cm³ et ceux de 800 cm³. Mais cette tendance ne peut pas être confirmée sur l'accroissement cumulé, la hauteur initiale des Micocouliers n'étant qu'une estimation. Sur ce même dispositif, la modalité la plus performante en hauteur totale est le RN planche.

Sur le Frêne à fleurs (essai n° 3), la différence significative observée sur la hauteur totale entre les deux types de plants peut être attribuée à l'élevage en pépinière, aucune différence n'étant observée sur la croissance en hauteur en plantation.

Effets des autres facteurs étudiés

Taux de reprise et de survie

De manière générale, la présence d'un abri-serre ou d'un paillage, voire des deux ensemble, n'a pas d'effet significatif sur la survie.

Une exception est toutefois observée dans l'essai n°5 pour lequel l'effet est lié au type de matériel végétal utilisé et sera discuté à nouveau plus loin.

Le binage, testé sur un seul dispositif avec du chêne pubescent, a en revanche eu un effet significatif et négatif (Cf. Tab. VI ci-dessus). L'année suivant le premier binage, les plants ont vu leur mortalité augmenter de 20 % (il n'y avait pas eu de différence sur la mortalité les autres années).

Croissance en hauteur

Dans tous les cas de figure où elle a été testée, la présence d'un abri-serre a un effet très bénéfique et significatif sur la croissance en hauteur. Les résultats sont indiqués dans le tableau VII.

Cependant cet effet semble diminuer au fur et à mesure que les plants sortent des abri-serres, notamment avec les Frênes à fleurs de l'essai n° 3.

Avec les chênes, l'ajout d'un paillage n'a jamais amélioré de manière significative la croissance en hauteur. Nos dispositifs sont suffisamment puissants pour même affirmer

	Essai n° 1 Chêne pubescent après 5 ans		Essai n° 2 Chêne vert après 5 ans		Essai n° 3 Frêne à fleurs après 5 ans		Essai n° 5 Chêne pubescent après 6 ans	
	Acc. H. (5)	H. tot.	Acc. H. (5)	H. tot.	Acc. H. (5)	H. tot.	Acc. H. (5)	H. tot.
Avec abri-serre	64,8	A	77,2	58,1 A	70,6 A	128,6 A	111,0 A	14,0 A
Sans abri-serre	21,3	B	33,7	31,0 B	19,9 B	88,6 B	69,3 B	1,7 B
Effet traitement	*** P < 0,001	Pas d'analyse	*** P < 0,001	*** P < 0,001	*** P < 0,001	*** P < 0,001	*** P < 0,001	*** P < 0,001

que les plants paillés ont des hauteurs équivalentes à celles des plants témoins (puissance à 75 % pour détecter une différence de 1,5 cm/an avec un risque $\alpha = 10\%$).

Avec le frêne, le paillage améliore significativement la croissance en hauteur (au seuil de 5 %), mais de seulement 6 cm en 5 ans (soit 1,2 cm/an). Cette amélioration est donc beaucoup trop faible au regard du surcoût engendré.

Les binages effectués sur l'essai n° 8 n'ont apporté aucune amélioration à la croissance en hauteur. On peut même affirmer qu'avec ou sans binage la croissance est identique.

liée à la date de mise en place de l'abri-serre.

Dans l'essai n° 5, les abris-serres ont d'abord été installés et enterrés de 4 à 5 cm, puis les glands ont été semés à l'intérieur et recouverts d'un peu de terre.

Dans les essais 1 et 2, le semis a été réalisé en février sous des petits grillages enterrés afin de protéger les glands des rongeurs. L'abri-serre a été ensuite ajouté en juin, dans tous les potets où au moins un des glands avait germé.

Cet effet spectaculaire et inattendu, *a priori*, de l'abri-serre sur le taux de réussite des semis serait donc dû en partie au rôle de protection vis-à-vis des rongeurs, le grillage habituellement installé sur le témoin n'étant pas suffisamment efficace.

Tab. VII :
Hauteur totale et croissance en hauteur selon la présence ou non d'un abri-serre

Les interactions entre facteurs étudiés

Taux de reprise et de survie

(pour les semis, il s'agit de la proportion des potets avec au moins une plantule vivante, on peut alors parler de taux de réussite.)

Pour la variable de jugement "taux de reprise", une seule interaction très significative a pu être mise en évidence dans tous nos essais. Il s'agit du croisement du matériel végétal utilisé et de l'abri-serre dans l'essai n° 5 (avec du Chêne pubescent).

Dans cet essai, on constate que l'adjonction d'un abri-serre à un semis artificiel améliore significativement et dans des proportions très intéressantes le taux de réussite. Le même résultat n'a pas été observé dans les essais 1 ou 2 où le même croisement de facteurs a été étudié. Cette apparente contradiction des résultats est très certainement

Croissance en hauteur

Les effets d'une interaction entre le matériel végétal utilisé et l'abri-serre sur la croissance en hauteur ne peuvent pas être analysés dans l'essai n° 5, le nombre de semis sans abri-serre vivants étant trop faible. En

Tab. VIII :
Taux de survie selon la présence ou non d'un abri-serre

Modalités	Taux de survie (%)	
Godet 800 cm ³ avec abri-serre	93	A
Semis avec abri-serre	91	A
Godet 800 cm ³ sans abri-serre	86	A
Semis sans abri-serre	16	B
Effet traitement	*** Proba < 0,001	



Photo 1 :
Chêne vert
Photo Charles Pujos / ONF

revanche, cette interaction existe dans les essais 1 et 2, (Cf. Tab. IX.)

Les résultats diffèrent un peu selon l'essence. Avec le chêne pubescent, l'abri-serre multiplie l'accroissement cumulé en hauteur sur 5 ans par 2,6 avec le semis et par 3,2 avec les plants en godet. Si avec cette variable de jugement les semis avec abri-serre se trouvent être plus performants que les plants en godets sans abri-serre, il n'en est pas de même pour la hauteur totale. Grâce à leur hauteur initiale, les plants en godet sans abri-serre se trouvent être plus grands que les semis avec abri-serre (53 cm contre 38 cm).

Avec le chêne vert, la supériorité des plants en godet de 2 700 cm³ par rapport au semis est beaucoup plus marquée. L'accroissement cumulé en hauteur des plants en godet sans abri-serre est déjà

significativement supérieur à celui des semis avec abri-serre. L'abri-serre n'a en fait amélioré significativement que l'accroissement des plants en godet.

Discussion

Si tous les essais analysés dans le présent article concourent à un même objectif, ils n'ont pas été installés sous forme d'un réseau dans lequel les mêmes comparaisons de traitements se trouveraient sur plusieurs sites. C'est ainsi par exemple que les plants de 2 700 cm³ ne se trouvent jamais comparés à un volume de conteneur économiquement plus raisonnable sur un même site.

La synthèse de ces dispositifs ne peut donc pas être faite statistiquement, mais seulement en faisant appel au bon sens. Cependant, des enseignements intéressants peuvent déjà être tirés des analyses de chacun des dispositifs.

Tout d'abord, les résultats du semis direct sont très décevants, autant en terme de survie que de croissance en hauteur. Le seul bon résultat, uniquement en terme de reprise, a été obtenu sur un dispositif où le semis a été réalisé à l'intérieur d'un abri-serre, celui-ci étant enterré de 5 cm pour protéger les glands de la prédation des petits rongeurs.

Ensuite on relève l'effet très significatif de l'abri-serre sur la croissance en hauteur, tout au moins jusqu'à ce que les plants en sortent. La durée limitée de cet effet a déjà été constaté pour d'autres essences et dans des milieux variés (DUPRAZ, 1997 ; PILARD-LANDEAU, 2000).

Modalités	Essai n° 1			Essai n° 2		
	Chêne pubescent Acc. H. (5)			Chêne vert Acc. H. (5)		
Godet 2 700 cm ³ avec abri-serre	91,6	A		93,3	A	
Semis avec abri-serre	38,0	B		22,9		C
Godet 2 700 cm ³ sans abri-serre	28,3	C		45,2	B	
Semis sans abri-serre	14,4	D		16,8	C	
Effet traitement	*** Proba < 0,001			*** Proba < 0,001		

Tab. IX :
Interaction
abri-serre/matiel
végétal sur la croissance
en hauteur

L'intérêt de cet accessoire est toutefois à pondérer compte tenu du coût d'installation et du coût d'entretien, ce dernier étant assez élevé dans les régions très ventées, comme c'est le cas pour les essais n° 1 et 3. En effet, à cause du Mistral, il a fallu un passage par an pour relever les abris couchés. La hauteur des modèles utilisés sur ces semis, 1,20 m était peut-être trop élevée. Sur l'essai n° 5, les abris-serres utilisés avaient une hauteur de 60 cm et ont mieux résisté au vent. Un autre avantage à utiliser un modèle de plus petite taille est que cela éviterait qu'une trop grande proportion de plants ne soit pas sortie de l'abri dans les 3 ans après plantation avec les risques de dysfonctionnement physiologique que cela entraîne (DUPRAZ, 1997).

Enfin, le total manque d'intérêt des paillages et du binage dans les conditions de station concernées a été clairement démontré. Il est probable que la durée du stress hydrique auquel sont soumis les plants en région méditerranéenne soit beaucoup trop longue par rapport à l'efficacité que l'on est en droit d'attendre d'un paillage limitant l'évaporation du sol. Dans les cas où les conditions stationnelles étaient favorables à l'installation d'une concurrence très vive en herbacées (anciennes terrasses des essais n° 1 à 3 et essai n° 7), les paillages ont très vite disparus sous cette végétation (il a d'ailleurs fallu recourir récemment à un traitement herbicide). Ce résultat va également dans le même sens que ce qui a été constaté sur de nombreux dispositifs installés en conditions forestières (LECLERC, 1997).

En ce qui concerne les différents volumes de conteneurs, l'analyse est plus délicate. Dans les essais où plusieurs modalités étaient comparées, les résultats ne sont pas probants. La seule différence significative observée porte sur l'accroissement cumulé sur 5 ans des chênes pubescents de l'essai n° 4. Les plants en godets de 800 cm³ ont eu un accroissement significativement supérieur à celui des plants en godets de 600 et 900 cm³. Même si cet accroissement reste extrêmement faible, cette significativité montre que la section des godets, supérieure pour le 800 cm³ par rapport aux 600 et 900 cm³, est probablement la dimension la plus influente sur les performances des plants en boisement, ce qui avait été démontré dans le cas des résineux (MARIEN et DROUIN, 1977).

Si l'on compare maintenant les dispositifs entre eux, en ne tenant compte que de ceux réalisés avec du Chêne pubescent pour sim-



Photo 2 :
Glands de Chêne vert
Photo Thierry Sardin

plifier l'analyse, on constate une croissance en hauteur très supérieure des plants en conteneur de 2 700 cm³ par rapport aux autres tailles de conteneurs. S'ils ont profité d'un sol profond sur une partie de l'essai, ces godets de grande capacité se trouvaient également dans les conditions bioclimatiques les plus défavorables (les calanques de Cassis à 200-203 m en distance horizontale de la mer). C'est pourquoi nous pensons que le volume, et *a fortiori* la section, ont joué un rôle fondamental dans cette réussite. Toutefois, la préconisation de ce volume de conteneur est incompatible avec les moyens actuels affectés aux reboisements en forêt. Nous ne pouvons simplement qu'inciter les reboiseurs à privilégier les plus grands conteneurs en fonction de leurs moyens, en recherchant ceux ayant la section la plus large possible. Des conteneurs d'au moins 800 cm³ avec une section d'au moins 50 cm² (pour les résineux, les performances des plants sont corrélées positivement à la section de leur godet d'élevage jusqu'à 50 cm²; MARIEN et DROUIN, 1977) devraient représenter le bon compromis pour la mise en place de feuillus en région méditerranéenne basse.

Pour l'avenir, compte tenu de la faiblesse générale des croissances observées sur ces huit dispositifs et sachant que les résultats en plantation courante sont plutôt moins bons, on peut se demander si la plantation de feuillus en plein découvert en zone méditerranéenne basse est envisageable ou non. On observe d'ailleurs souvent une installation lente mais naturelle sous des peuplements de résineux jamais en plein découvert en ces milieux. Peut-être faudrait-il envisa-



Photo 3 :
Erable de Montpellier
dans la forêt domaniale
du petit Luberon
Photo ONF

ger, au moins au niveau expérimental, d'installer les feuillus sous un peuplement résineux clair (Pin d'Alep ou Pin Maritime dans les Maures). L'abri fourni pourrait être déterminant pour la réussite des reboisements.

Conclusions

De nombreux essais ont été mis en œuvre en région méditerranéenne française pour tenter de reconstituer des peuplements feuillus, souvent après incendie. L'analyse en commun de huit dispositifs expérimentaux âgés de 4 à 7 ans installés par le Cemagref et l'O.N.F., a permis déjà de tirer des enseignements intéressants.

Pour la reconstitution en chêne, la technique du semis artificiel s'est avéré moins performante que la plantation de plants en godet, tant en terme de reprise qu'en terme de croissance en hauteur, même si la reprise des semis peut être améliorée en réalisant le semis à l'intérieur d'un abri-serre. L'avantage attendu grâce à l'absence de contraintes au développement du système racinaire n'a donc pas été mis en évidence.

Si la technique du semis s'était avérée beaucoup moins chère que celle de la plantation, on pourrait éventuellement s'en contenter en améliorant simplement le taux d'occupation des potets grâce à un nombre de graines semées nettement plus important. Le coût de ces techniques est malheureuse-

ment peu différent de celle de la plantation, car elle nécessite la même préparation du sol, et une mise en place soignée des graines si l'on veut que leur protection anti-rongeur soit efficace. Dans un reboisement classique, le coût des plants ne représente en effet que 10 % du coût total.

Les paillages testés, différents modèles de 0,25 à 0,36 m², se sont tous avérés inutiles, tout comme l'entretien par binage. Lorsque les feuillus sont installés sur des sols à fort potentiel de concurrence herbacée, le forestier a alors tout intérêt à prévoir des entretiens efficaces, comme un traitement herbicide par exemple.

Si les abris-serres n'ont pas eu d'effet sur la survie des plants, ils ont en revanche amélioré très significativement la croissance en hauteur des plants, tout au moins jusqu'à leur sortie de ces abris. Mais les inconvénients de l'abri-serre peuvent être multiples. Ils sont onéreux à mettre en place et à entretenir, notamment dans une région ventée (mistral et tramontane). Toutefois, compte tenu de l'appétence présentée par les feuillus pour les lapins et les lièvres, la mise en place d'une protection est très souvent indispensable. On peut alors utiliser un abri-serre à condition de choisir ce dernier le moins sensible au vent possible. Les protections d'une hauteur de 60 cm fixées solidement devraient convenir.

Pour ce qui est du type de plant, ce sont les godets de 2 700 cm³ qui se sont avérés les plus performants. Malheureusement cette solution n'est pas économiquement supportable. C'est pourquoi nous pensons que l'utilisation de conteneurs de 800 cm³, dont la section serait d'au moins 50 cm², donnerait le meilleur compromis. Compte tenu des modèles disponibles sur le marché, ce sont des godets de 1000 cm³ qui conviendront le plus souvent.

Enfin, le fait que des différences significatives aient été observées dans ces huit dispositifs ne doit pas faire oublier les performances globalement médiocres des feuillus. Aussi conviendrait-il de s'orienter vers la recherche d'autres techniques d'installation s'appuyant sur la présence d'un abri constitué d'un peuplement résineux. Ce dernier pourrait être déjà présent lors de l'installation des plants ou installé à cette occasion (plantation en mélange). On se rapprocherait ainsi des conditions naturelles selon lesquelles les feuillus en général et les Chênes en particulier s'installent de manière pérenne en forêt méditerranéenne, en répon-

dant d'ailleurs de manière plus efficace à l'objectif paysager assigné à la plupart des reboisements de cette zone.

Il convient enfin de rappeler que les feuillus doivent être réservés aux meilleures conditions stationnelles que l'on puisse trouver en zone méditerranéenne, c'est-à-dire aux sols les plus profonds et aux sites où une préparation très soignée du sol est possible (techniquement et économiquement). Cela implique une caractérisation approfondie de la station (notamment édaphique) et un choix d'essences (voire de provenances) adaptées à cette station. De manière générale, on préconise plutôt l'installation d'espèces feuillues pionnières (Sorbier domestique, Frêne à fleurs...) de préférence aux chênes dont la croissance juvénile est très lente.

L'option du reboisement est enfin à replacer dans la palette des autres techniques de reconstitution possibles (recépage des Chênes après incendie et recours à la régénération naturelle présente, qu'elle soit de feuillus ou de résineux).

T.S., Ph.B., C.A.

Thierry SARDIN
Office national
des forêts
Section Technique
Interrégionale
Sud-Ouest
23 bis boulevard
Bonrepos
31 000 Toulouse

Philippe BOURDENET
Office national
des forêts
Agence Bouches-du-
Rhône et Vaucluse
1175, chemin
du Lavarin
84000 Avignon

Christine ARGILLIER
Cemagref
Groupement
de Montpellier
Unité RIPE
361 rue J.F Breton
BP 5095 - 34033
Montpellier

Cet article est extrait
du n° 5, 2001 de la
*Revue forestière
française*, qui nous
a aimablement
autorisé à le publier
ici.

Bibliographie

ALEXANDRIAN (D.). — Les Reboisements en Chênes méditerranéens. — Bulletin technique de l'Office national des Forêts, n° 10, 1979, pp. 17-30.

DIMON (J.). — Les Glands de Chênes méditerranéens récolte, conservation et semis direct. — Nogent-sur-Vernisson : ENITEF, 1976 (Mémoire 3^e année).

DIRECTION DE L'ESPACE RURAL ET DE LA FORET. — Fourniture de plants forestiers en zone méditerranéenne. Cahier des clauses techniques particulières. — Paris : DERF, 1996. — 28 p. + annexes.

DUPRAZ (C.). — Les Protections de plants à effet de serre, 1^e partie : ce qu'en pensent les arbres... — *Revue forestière française*, vol. XLIX, n° 5, 1997, pp. 417-432.

DUPRAZ (C.). — Les Protections de plants à effet de serre. 2^e partie : amélioration de leur efficacité par aération optimisée et luminosité accrue. — *Revue forestière française*, vol. XLIX, n° 6, 1997, pp. 519-530.

FAUCONNIER (T.) — Conseils aux reboiseurs en zone méditerranéenne calcaire. — *Information Forêts*, n° 3, fascicule 371, 1989, pp. 171-190

LECLERC (D.). — Le Paillage en forêt. — *Bulletin technique de l'Office national des Forêts*, n° 32, 1997, pp. 147-153.

MARIEN O.-N., DROUIN (G.). — Etudes sur les conteneurs à parois rigides. — *Annales de Recherches sylvicoles*, 1977, pp. 137-161.

PILARD-LANDEAU (B.). — Bilan des essais sur les tubes-abris à effet-serre installés par l'ONF. — *Bulletin technique de l'Office national des Forêts*, n° 39, 2000, pp. 19-31.

RIEDACKER (A.). — Production et plantation de plants à racines nues ou en conteneurs. — *Revue forestière française*, vol. XXXVIII, n° 3 spécial "Production de plants forestiers et plantations", 1986, pp. 226-236.

SONDERGAARD (P.). — Essai de semis du Chêne-liège, *Quercus suber* L., dans la forêt de Bab Azhar, une subéraie de montagne au Maroc. — *Annales de la Recherche forestière au Maroc*, vol. 25, 1991, pp. 16-29.

Résumé

Une synthèse réalisée sur 8 essais de reboisement effectués en région méditerranéenne par le Cemagref et l'Office national des forêts (STIR) permet de tirer les principales conclusions relatives à l'amélioration des techniques de reconstitution en espèces feuillues en zone méditerranéenne. Parmi le matériel végétal testé, ce sont les plants en godets de 1 000 cm³ qui se révèlent être les plus performants pour un coût raisonnable. Ceux à section supérieure ou égale à 50 cm² sont préférables. La technique du semis direct de glands s'est avérée décevante pour l'installation des chênes. La réussite semble notamment trop aléatoire. L'utilisation d'un paillage ou la réalisation d'un binage n'a aucun effet positif significatif sur la survie ou la croissance. L'abri-serre procure un gain significatif sur l'accroissement en hauteur des plants jusqu'à leur émergence de la protection. Ces techniques ne doivent pas faire oublier que les facteurs principaux de réussite sont le choix des stations appropriées et le soin apporté à la préparation du terrain ainsi qu'à la mise en place des plants.

Summary

Improvements in reafforestation techniques using deciduous Mediterranean species

Some major conclusions can be derived from the summary of 8 reafforestation tests carried out in the Mediterranean region by Cemagref and the French National Forestry Board (STIR) concerning improvement of reafforestation techniques using deciduous species in the Mediterranean area. From the range of plant material tested, the seedlings grown in 1000 cubic centimetre buckets obtained the best results at a reasonable cost. Those with a diameter of at least 50 cubic centimetres are to be preferred. The direct drilling technique for acorns did not achieve reliable results as to oak establishment. Neither mulching nor hoeing had any positive effect on survival and growth. The shelter method does produce a significant gain in seedling stem growth up to the time the protection is removed. These techniques should not overshadow the fact that what is critical to success is the choice of sites and the care taken in preparing the ground and positioning the seedlings.

Riassunto

Miglioramento delle tecniche di ricostituzione in specie latifoglie della foresta mediterranea

Una sintesi realizzata su 8 prove di rimboschimento effettuate in regione mediterranea dal CEMAGREF e dall'Ufficio nazionale delle foreste (STIR) permette di trarre le principali conclusioni relative al miglioramento delle tecniche di ricostituzione in specie latifoglie in zona mediterranea. Tra il materiale vegetale testato, sono i pianti in tazze di 1000 cm³ che si rivelano essere i più propizi per un costo ragionevole. Quelli di sezione superiore o uguali a 50 cm² sono preferibili. La tecnica della semina diretta di ghiande si è rivelata deludente per l'impianto delle querce. Il successo sembra in particolare troppo aleatorio. L'utilizzazione di una pacciamatura o la realizzazione di una sarchiatura ha nessuno effetto positivo significativo sulla sopravvivenza o la crescenza. Il riparo-serra procura un guadagno significativo sull'accrescimento in altezza delle piantine fino alla loro emergenza della protezione. Queste tecniche non devono fare dimenticare che i fattori principali di successo sono la scelta di stazioni appropriate e la cura recata alla preparazione del terreno come alla messa in posto delle piantine.