



Variabilité géographique et adaptation aux contraintes du milieu méditerranéen des pins de la section halepensis : résultats (provisoire) d'un essai en plantations comparatives en France

M Bariteau, J Pommery

► To cite this version:

M Bariteau, J Pommery. Variabilité géographique et adaptation aux contraintes du milieu méditerranéen des pins de la section halepensis : résultats (provisoire) d'un essai en plantations comparatives en France. *Annales des sciences forestières*, 1992, 49 (3), pp.261-276. hal-00882802

HAL Id: hal-00882802

<https://hal.science/hal-00882802>

Submitted on 11 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Variabilité géographique et adaptation aux contraintes du milieu méditerranéen des pins de la section *halepensis* : résultats (provisaires) d'un essai en plantations comparatives en France

M Bariteau

avec la collaboration technique de J Pommery,
INRA domaine du Ruscas, 83237 Bormes-les-Mimosas cedex

INRA, station de génétique et d'amélioration des arbres forestiers
avenue Vivaldi, 84000 Avignon, France

(Reçu le 30 janvier 1991; accepté le 11 février 1992)

Résumé — Les résultats de plantations comparatives effectuées sur 2 sites (Vitrolles et Ceyreste) dans le Sud de la France dans le cadre d'un essai international sur les principales provenances de pins de la section *halepensis* sont présentés, 11 ans et 13 ans après la mise en place. Les caractères étudiés sont : la résistance au froid; la résistance à la sécheresse; la résistance à la chenille processionnaire (*Thaumetopea pityocampa*); la croissance en hauteur. Pour *Pinus halepensis*, les résultats acquis à Vitrolles, où l'espèce est bien adaptée, permettent de confirmer la bonne adaptation de la provenance locale et l'intérêt de certaines provenances espagnoles et du Nord-Est de la Grèce. Pour *Pinus brutia*, les sites expérimentaux ne correspondent pas à l'aire potentielle d'introduction en France, située plus en altitude. Les sélections opérées par le gel et la sécheresse, ainsi que les connaissances déjà acquises dans l'aire naturelle, permettent néanmoins de proposer un choix de provenances pour la zone supra-méditerranéenne française (étage du chêne pubescent), en fonction des risques potentiels de sécheresse.

Les possibilités d'hybridation entre *Pinus brutia* et *Pinus halepensis* ouvrent des voies d'études et de création variétale intéressantes mais imposent également des mesures de protection et de conservation de la ressource existante.

amélioration génétique / forêt méditerranéenne / *Pinus halepensis* / *Pinus brutia* / *Pinus eldarica*

Summary — Geographic variation and stress adaptation of *Pinus halepensis* – *Pinus brutia* complex in Mediterranean conditions. Preliminary results of a provenance test in France. Results of a 2-site provenance trial planted in south-eastern France (Vitrolles and Ceyreste) as part of an international network involving pine provenances of the *Pinus halepensis* – *Pinus brutia* complex are presented. Observations were made 11 and 13 years after plantation. Traits studied are frost and drought resistance, height growth and resistance to the processionary moth (*Thaumetopea pityocampa*). For results from the Aleppo pine, the Vitrolles site, which is typical for this species, con-

* Correspondence and reprints

firms that the local provenances, as well as those from Spain and north-eastern Greece show good site adaptation. Pinus brutia is not well adapted to either site due to its altitude, but a choice of provenances can be proposed for afforestation in the more elevated pubescent oak range, relative to their resistance to frost and drought, as well as their behaviour in natural stands. As the 2 species, ie Pinus brutia and Pinus halepensis hybridize easily, the future improvement programme may involve a hybrid breeding population; however, the protection and conservation of the local French Aleppo pine resources should also be considered.

tree breeding / Mediterranean forest / Pinus halepensis / Pinus brutia / Pinus eldarica

INTRODUCTION

Les pins de la section *halepensis* peuvent être scindés en 2 espèces : *Pinus halepensis* Miller et *Pinus brutia* Tenore (Nahal, 1962). La première se répartit sur le pourtour occidental de la Méditerranée, la seconde étant strictement orientale. Des formes géographiques distinctes existent au sein de *Pinus brutia* qui sont parfois décrites en tant qu'espèces à savoir : *Pinus pithyusa* Stevens, *Pinus eldarica* Hedweg et *Pinus stankwiczii* (Debazac, 1964). Une grande hétérogénéité a été notée par divers auteurs au sein des pins de la section *halepensis*. Debazac et Tomassone (1965) remarquent un gradient géographique : les dimensions et poids de graines, ainsi que le nombre et la longueur des cotylédons croissent dans le même sens d'ouest en est. Les pins d'Afrique du Nord et du Nord de la Méditerranée occidentale semblent distincts.

La variabilité des pins de la section *halepensis* se traduit sur de nombreux caractères dont la forme. Arbez (1974) cite l'existence de peuplements de *Pinus brutia* ayant une forme «excellente» : cela permet de penser que l'espèce a un bel avenir pour le reboisement en zone méditerranéenne. Mais la forte variabilité géographique rend difficile le choix de l'origine des graines pour le reboisement, en particulier là où il n'y a pas de sources locales utilisables. Une expérience internationale de comparaison des provenances de *Pinus halepensis* et *Pinus brutia-eldarica* a été initiée en 1975 par la FAO

(projet FAO/SCM/CRFM/4bis). Les objectifs et la méthodologie ont été présentés dans un protocole commun à tous les pays participants (Eccher, 1975).

Les premiers résultats traitent essentiellement des données de pépinière (Bellefontaine et Raggabi, 1977; Pelizzo et Tocci, 1978; Calamassi *et al*, 1980). Des observations, 10 ans après plantation, ont été publiées par Allemand *et al* (1985) sur l'expérimentation française, ainsi que par Eccher *et al* (1987) sur les essais effectués en Italie. Ces derniers mettent en évidence une différence d'accroissement entre pin d'Alep et pin brutia au stade juvénile au profit du pin d'Alep, qui s'atténue au cours du temps. Dans les stations chaudes et arides, c'est *Pinus halepensis* qui reste supérieur à *Pinus brutia* pour ce qui est des accroissements en hauteur. Les provenances de pin d'Alep de Grèce orientale (péninsule de Chalkidike et Eubée septentrionale) sont très performantes, tant en ce qui concerne la croissance que de la résistance au stress hydrique. Globalement, les provenances de *Pinus halepensis* sont plus résistantes à la sécheresse que celles de *Pinus brutia*, à l'exception des provenances montagnardes Isparta et Pamučak : ces dernières se sont également révélées très résistantes au gel ainsi que les provenances de *Pinus eldarica*. Le port et la forme des fûts sont en général meilleurs pour *Pinus brutia* et *Pinus eldarica* que pour *Pinus halepensis*.

Les meilleurs génotypes testés en Israël, à partir de critères de croissance et survie sur des plants de 10 ans, sont des

provenances locales ou celles issues de basse altitude en Grèce pour *P. halepensis*, et pour *P. brutia*, les provenances de basse altitude de la côte méditerranéenne turque : Bakara, Marmaris, Düzlerçani (Weinstein, 1989).

Le présent article se propose de faire le point sur l'expérimentation française, 12 ans après la première plantation en examinant les résultats sur la croissance en hauteur, la résistance au froid, à la sécheresse, et à la chenille processionnaire (*Thaumetopea pithyocampa*).

présentent de façon synthétique les principales caractéristiques et les résultats d'analyses chimiques des 2 sites.

L'hétérogénéité du site de Vitrolles a nécessité une étude complémentaire par le CEMA-GREF d'Aix-en-Provence qui a distingué 3 zones, dénommées *a posteriori* comme «bonnes», «moyennes» ou «mauvaises» en fonction des résultats de croissances en hauteur et des survies, toutes provenances confondues.

Le tableau III présente l'échantillonnage des provenances testées en France au sein de la collection internationale (d'après Eccher *et al.*, 1987). Les provenances sont localisées sur la figure 1.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Sites expérimentaux et matériel végétal

Deux sites ont été retenus : Vitrolles et Ceyreste dans les Bouches-du-Rhône. Les tableaux I et II

Dispositifs expérimentaux

Les caractéristiques des dispositifs sont les suivantes :

– Vitrolles : blocs incomplets à composition aléatoire; 55 blocs de 6 provenances par parcelle unitaire de 8 plants;

Tableau I. Principales caractéristiques des dispositifs français.

	<i>Vitrolles</i>	<i>Ceyreste</i>
<i>Conditions écologiques</i>		
Altitude	200 m	470 m
Longitude-latitude	3,26 gr E/48,32 gr N	3,71 gr E/48,4 gr N
Exposition/pente	Plateau/nulle	Sud/10%
Pluviométrie (1951/1980)	569 mm (Marignane)	786 mm (Cuges)
Sol	Calcaire	Grès du Baguier
Végétation	Forêt de <i>Pinus halepensis</i> brûlée en 1972	Chênes verts et kermes – arbousier
<i>Surface</i>	1,93 ha	1,13 ha
<i>Travail du sol</i>	Trait de ripper tous les 5 m	Sous-solage croisé en plein
<i>Plantation</i>		
Date	Mars 1978	Janvier 1976
Espacement	5 x 1,5 m sur trait	2,5 x 1,33
Age des plantes	1-0 fertile pot	1-0 fertile pot
Méthode	Au potet dans trait de ripper	Au potet dans raie de sous-solage

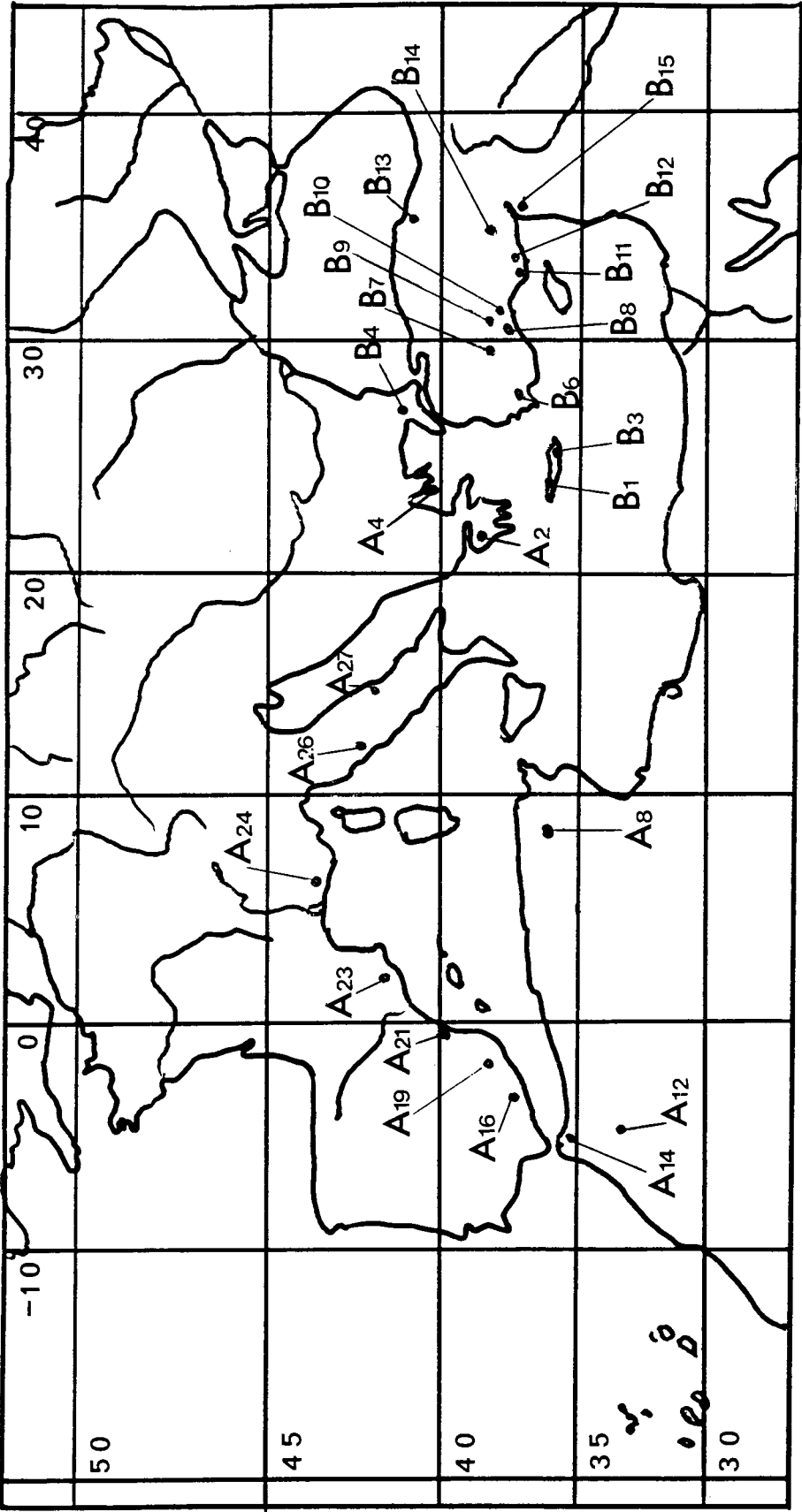


Fig 1. Localisation des provenances de *Pinus halepensis* et *Pinus brutia* utilisées dans les essais français.

Tableau II. Résultats des analyses de sols effectuées dans les dispositifs de Vitrolles et Ceyreste.

Station	Roche mère	Prof sol (cm)	C _{org} (g/kg)	Mat org	N _{kield} (g/kg)	C/N	pH eau	pH	KCl	P ₂ O ₅ JH (g/kg)	CaO _{éch} (g/kg)	Na _{éch} (g/kg)	MgO _{éch} (g/kg)	K ₂ O _{éch} (g/kg)
Vitrol 1 mauvais	Calcaire altéré dès la surface	25	20,1	34,6	1,74	11,55	8,1	7,7		0,01	8,862	0,015	0,062	0,078
Vitrol 2 moyen	Calcaire altéré à partir de 25 cm	40	21,4	36,8	1,58	13,54	8,1	7,4		0,01	9,074	0,013	0,091	0,154
Vitrol 3 bon	Calcaire dur en profondeur	25	18,2	31,3	1,69	10,77	8,1	7,5		0,01	9,434	0,015	0,099	0,132
Ceyres 1	Peu d'éléments grossiers (1%)				0,64		8,3	7,2		0,01	3,8		0,12	0,15
Ceyres 2	Riche en éléments grossiers (27%)				1,59		8,2	7		0,01	9,2		0,29	0,38

Tableau III. Liste des provenances utilisées dans l'essai international sur les pins de la section *halepensis*. Ind: indicatif internation (A = *Pinus halepensis*; B = *Pinus brutia*; E = *Pinus eldarica*). Alt : altitude des peuplements (en m); N : numéro dans les essais français. Disp : utilisation des dispositions français (V = Vitrolles; C = Ceyreste).

Ind	Provenance	Pays	Longit	Latit	Alt	N	Disp
A1	Albanie	Albanie	19°25'E	40°37'	2		
A2	Eléa	Grèce	21°32'E	37°46'	200	1	V/C
A3	Euboea	Grèce	23°18'E	38°58'	200		
A4	Chalkidike I	Grèce	23°21'E	40°11'	125	2	V/C
A5	Chalkidike II	Grèce	23°44'E	40°03'	70		
A6	Shaharia	Israël	34°50'E	31°36'	200		
A7	Elkosh	Israël	35°18'E	33°01'	500		
A8	Sakiet Sidiyoussef	Tunisie	8°25'E	36°15'	700	3	V/C
A9	Oum Djeddour	Tunisie	8°57'E	35°38'	900		
A10	Djebel Selloum	Tunisie	8°40'E	35°05'	900		
A11	Aures Tababuel	Algérie	6°50'E	35°10'			
A12	Zaouia Ifrane	Maroc	5°23'E	33°15'	1250	4	V/C
A13	J Afra Selminte	Maroc	7°55'W	30°44'	1600		
A14	Ouardane Bouksane	Maroc	5°08'W	35°03'	900	5	V/C
A15	Tamga Zaouia	Maroc	6°07'W	32°02'	1250		
A16	Soportujar	Espagne	3°15'W	37°10'	800	6	V/C
A17	Guadalmedina	Espagne	2°15'W	37°02'			
A18	Maria	Espagne	2°10'W	37°40'	1200		
A19	Cehegin	Espagne	1°55'W	38°05'	850	7	V/C
A20	Jarafuel	Espagne	1°00'W	38°55'	600		
A21	Serra	Espagne	0°28'W	39°50'	600	8	V/C
A22	Montmell	Espagne	1°32'E	41°24'	400		
A23	Tarrasa	Espagne	2°06'E	41°28'	250	9	V/C
A24	Gemenos	France	5°40'E	43°25'	150	10	V/C
A25	Imperia	Italie	8°03'E	43°54'	200		
A26	Otricoli	Italie	12°38'E	42°24'	400	11	V/C
A27	Vico del Gargano	Italie	16°00'E	41°54'	225	12	V/C
A28	Patemisco	Italie	17°20'E	40°39'	5		
A29	Aures Beni Melloul	Algérie	6°50'E	35°10'	1700		
A30	Senalba	Algérie					
A31	Telagh	Algérie					
A32	Ouarsenis	Algérie	5°04'E	35°05'			
A33	Liban	Liban					
B1	Chania	Grèce	23°57'E	35°17'	850	13	V/C
B2	Kavala	Grèce	24°42'E	40°48'	100		
B3	Lassithiou	Grèce	25°32'E	35°06'	1100	14	V/C
B4	Alexandropolis	Grèce	26°13'E	41°08'	200	15	V/C
B5	Chypre	Chypre	33°17'E	35°08'	150		
B6	Marmaris	Turquie	28°18'E	37°00'	175	16	V/C
B7	Isparta	Turquie	29°32'E	38°04'	1043	17	V/C
B8	Düzlerçani	Turquie	30°25'E	37°03'	250	18	V/C
B9	Pamučak	Turquie	30°41'E	37°40'	780	19	V/C
B10	Bozburun	Turquie	30°45'E	37°21'	520	20	V/C
B11	Bakara	Turquie	32°43'E	36°09'	300	21	V/C
B12	Silifke	Turquie	33°43'E	36°13'	100	22	V/C
B13	Camgölü	Turquie	35°20'E	41°50'	70	23	V/C
B14	Baspinar	Turquie	35°15'E	37°48'	700	25	C
B15	Kisildag	Turquie	35°58'E	36°21'	370	24	V/C
B16	Zawita	Irak	44°20'E	36°35'			
B17	Liban	Liban					
E1	Iran I	Iran				26	C
E2	Iran II	Iran				27	C
E3	Iran III	Iran				28	C

– Ceyreste : lattice équilibré : 25 provenances testées (*P. eldarica* est en dispositif complémentaire sous forme de placettes surnuméraires de 20 plants dans chaque répétition complète); 5 provenances par bloc; 6 répétitions; 20 plants par parcelle unitaire (12 plants pour Gemenos).

Méthodes d'analyse

Résistance au froid

Elle a été testée à la suite d'une forte gelée en janvier 1985; les conséquences pouvant s'étaler sur plusieurs années, le taux de mortalité à terme par gel (sur une période de 3 ans suivant la gelée) a été calculée pour chaque provenance (*Mgelp*) par comparaison des mortalités entre 1988 et 1985. Les arbres notés indemnes après le gel de 1985 ont une survie de 99,3% en 1988 et on acceptera, par approximation, que la mortalité entre 1985 et 1988 est à imputer à l'action du froid de 1985.

Résistance à la sécheresse

Une notation individuelle a été effectuée à Vitrolles en janvier 1990 selon le barème suivant : 0 = arbre indemne; 1 = arbre stressé (jaunissement, chute d'aiguilles); 2 = arbre mort en 1989; -9 = arbre mort avant 1989.

Le taux de survie, depuis la plantation, a été calculé pour chaque provenance (*Surv90p*), en prenant comme vivants les arbres notés 0 et 1. Il s'agit donc d'un bilan provisoire, par comparaison des survies en 1988 et en 1990, qui fait état d'une mortalité minimale (*Msecp*), pour le cas où tous les plants notés «douteux» survivraient : $Msecp = (Surv88p - Surv90p) / Surv88p$

À Ceyreste, la mortalité liée à la sécheresse de l'année 1989 est faible et n'a pas justifié de notation.

Une analyse de variance a été effectuée sur les 24 provenances et les 3 zones (voir plus haut *Sites expérimentaux*) en prenant pour modèle :

$Msecpz = \text{effet provenance} + \text{effet zone} + \text{valeur résiduelle}$.

(*Msecpz* = mortalité de la provenance *p* dans la zone *z*).

Un test de Duncan au seuil de confiance de 5% permet de classer les provenances.

Résistance à la chenille processionnaire

Elle a été notée en présence – absence pour chaque individu en mai 1984, à la suite d'une attaque importante sur le dispositif de Ceyreste. Le pourcentage d'attaques a été calculé pour chaque provenance (*Pourp*) et pour chaque répétition (*Pourr*). Les provenances sont classées en fonction de la gravité de l'attaque; d'autre part les différences de taux d'attaques suivant les répétitions sont testées à l'aide d'un χ^2 . La mortalité résultant de l'attaque de processionnaires n'a pu être évaluée étant donné l'intensité du gel l'hiver suivant.

Croissances en hauteur

Des mesures individuelles, au cm près, ont été réalisées sur la hauteur totale en 1988 (*HT88*) pour les 2 dispositifs. Les arbres morts au moment des mesures sont notés -9, ce qui permet de calculer les taux de survie. Une analyse de variance est construite sur le modèle :

$$HT_{ijk} = m + p_i + b_j + l_{ij} + e_{ijk}$$

où HT_{ijk} représente les valeurs individuelles de la variable HT88 et p_i , b_j , l_{ij} sont respectivement les effets des facteurs provenances, blocs ainsi que l'effet d'interaction entre la provenance *i* et le bloc *j*; e_{ijk} est la valeur résiduelle. Dans les 2 cas, les résultats des analyses montrent un effet d'interaction significatif au seuil de 1%, vraisemblablement lié à la forte hétérogénéité du sol dans les 2 sites, y compris à l'intérieur d'un même bloc (tableau IV). Finalement, le dispositif de Vitrolles a été restructuré sur des critères d'homogénéité de hauteurs, de survie, et de disposition sur le terrain. Trois zones distinctes notées «médiocre» (1), «moyenne» (2) et «bonne» (3) ont été définies (voir tableau II) et un échantillon de 10 plants vivants en 1988 a été tiré au hasard pour chaque provenance et dans chaque zone. Quatre provenances possèdent des effectifs trop faibles pour être utilisées dans cette analyse (Elea, Gemenos, Alexandropolis, Bozburun). Les moyennes globales obtenues

Tableau IV. Analyses de variances sur les hauteurs mesurées en 1988 à Vitrolles et à Ceyreste. Source : source de variation; ddl : nombre de degrés de liberté; ms: carré moyen; F : valeur calculée pour le test F (***) = significatif au seuil de 1/1000). Programme utilisé : module GLM type III bibliothèque SAS STAT.

Site	Source	ddl	ms	F
Vitrolles	Provenance	23	18 895,47	16,28***
	Bloc	54	7 976,26	6,87***
	Interaction	238	3 001,55	2,59***
Ceyreste	Provenance	26	11 342,35	7,92***
	Bloc	34	5 838,87	4,07***
	Interaction	100	3 269,92	2,28***

pour ces provenances sont calculées et comparées pour mémoire à celles de l'étude principale. Une analyse de variance est construite sur le modèle :

$$Y_{ijk} = m + p_i + z_j + l_{ij} + e_{ijk};$$

où Y_{ijk} représente les valeurs individuelles de la variable étudiée (HT88); p_i , z_j , l_{ij} sont respectivement les effets des facteurs provenances, zones ainsi que l'effet d'interaction entre la provenance i et la zone j ; e_{ijk} est la valeur résiduelle. Les moyennes sont comparées à l'aide d'un test de Newmann-Keuls au seuil de 5%.

À Ceyreste, la mortalité très élevée et inégalement répartie sur le terrain, ainsi que les effets d'interaction déjà cités rendent délicate l'interprétation du lattice. Il est préférable de considérer le dispositif comme un ensemble de 6 répétitions complètes. Pour tenir compte de l'hétérogénéité du terrain au sein des répétitions, une covariable «survie» est introduite au niveau de l'analyse. En effet, il existe une corrélation significative entre les hauteurs et les survies, ces 2 variables étant elles-mêmes liées à la fertilité des stations. Les pentes des corrélations établies provenance par provenance ne sont pas significativement différentes. La survie est calculée en 1988 sur chaque parcelle unitaire (*Surv*).

Les valeurs étudiées dans l'analyse sont des moyennes par provenance sur chaque parcelle unitaire (une parcelle unitaire par provenance

dans chaque répétition). Une analyse de variance avec covariable est construite sur le modèle :

$$Y_{ij} = m + p_i + a(\text{Surv}_{ij} - ms) + e_{ij};$$

où Y_{ij} représente les valeurs individuelles pour la variable étudiée (HT88), p_i l'effet du facteur provenance, Surv_{ij} la survie de la provenance i dans la répétition j , ms la moyenne générale de la survie, e_{ij} le terme résiduel; a est le coefficient de régression des valeurs Surv_{ij} sur Y_{ij} . La répétition 3 est éliminée de l'analyse, 25 parcelles sur 28 ayant totalement disparu. Une comparaison multiple de moyennes est effectuée à partir d'un test de Newman-Keuls au seuil de 5%.

RÉSULTATS

Résistance au froid

La mortalité par gel est plus forte à Vitrolles qu'à Ceyreste : respectivement 15,7% et 9,4% (tableau V).

Les pins *brutia* et *eldarica* ont subi une mortalité toujours inférieure à 7% (2,7% en moyenne sur les 2 dispositifs pour *Pinus brutia* et 4,05% pour *Pinus eldarica*). Le

Tableau V. Mortalités par gel. Ind : indicatif international. Prov : nom abrégé de la provenance; *Gelv* : mortalité à Vitrolles (%); *Gelc* : mortalité à Ceyreste (%); *M* : mortalité moyenne sur les 2 dispositifs; *D* : écart de mortalité entre les deux dispositifs (*Gelv-Gelc*); *EFV* : effectifs à Vitrolles (plants vivants avant le gel); *EFC* = effectifs à Ceyreste (plants vivants avant le gel).

Ind	Espèce	Prov	Gelv	Gelc	M	D	EFV	EFC
A24	<i>P halepensis</i>	Geme	0,0	0,0	0,0	0,0	16	24
B7	<i>P brutia</i>	Ispa	0,9	0,0	0,45	0,9	115	69
B15	<i>P brutia</i>	Kizi	0,0	1,2	0,6	-1,2	73	84
B9	<i>P brutia</i>	Pamu	1,9	0,0	0,95	1,9	103	73
B11	<i>P brutia</i>	Baka	0,0	3,9	1,95	-3,9	81	76
B13	<i>P brutia</i>	Camg	2,9	1,4	2,15	1,5	136	72
B1	<i>P brutia</i>	Chan	2,4	2,0	2,2	0,4	83	50
B12	<i>P brutia</i>	Sili	0,7	3,8	2,25	-3,1	151	79
B3	<i>P brutia</i>	Lass	4,7	0,0	2,35	4,7	86	49
B6	<i>P brutia</i>	Marm	4,2	1,5	2,85	2,7	72	65
B10	<i>P brutia</i>	Bozb	3,8	5,6	4,7	-1,8	52	89
B4	<i>P brutia</i>	Alex	6,4	4,6	5,5	1,8	47	65
B8	<i>P brutia</i>	Duzl	6,7	5,9	6,3	0,8	134	34
A19	<i>P halepensis</i>	Cehe	8,8	4,4	6,6	4,4	80	45
A21	<i>P halepensis</i>	Serr	18,1	11,8	14,95	6,3	116	51
A4	<i>P halepensis</i>	Chal	18,6	17,6	18,1	1,0	86	51
A16	<i>P halepensis</i>	Sopo	30,4	7,0	18,7	23,4	115	71
A12	<i>P halepensis</i>	Ifra	24,8	18,6	21,7	6,2	129	70
A23	<i>P halepensis</i>	Tara	19,4	25,0	22,2	-5,6	129	36
A26	<i>P halepensis</i>	Otri	21,3	25,8	23,6	-4,5	108	62
A27	<i>P halepensis</i>	Viga	28,0	21,7	24,9	6,3	100	23
A8	<i>P halepensis</i>	Syou	38,9	22,2	30,6	16,7	108	54
A14	<i>P halepensis</i>	Bouk	47,8	26,8	37,3	21,0	115	56
A2	<i>P halepensis</i>	Elea	85,4	56,0	70,7	29,4	82	25
B14	<i>P brutia</i>	Basp		3,6				84
E1	<i>P eldarica</i>	Ira1		5,0				80
E2	<i>P eldarica</i>	Ira2		1,3				80
E3	<i>P eldarica</i>	Ira3		5,9				68

groupe des pins d'Alep apparaît dans les 2 cas, plus sensible au gel que celui des pins *brutia* (en moyenne 24,10%) sauf pour Gemenos (provenance française).

Les pins *brutia* d'altitude sont peu sensibles au froid (Pamuçak, Isparta, Chania, Lassithiou). La provenance turque Kizildag est également très résistante : les peuplements d'origine sont situés à 370 m d'altitude dans la zone méditerranéenne extrême orientale, sur les pentes de l'Amanos. Les provenances Bakarlı, Cam-

gölü (région de la mer Noire) et Silifke, bien que venant de zones d'altitude faible, sont également peu sensibles au froid. Par contre, les populations situées entre Marmaris et Antalya, c'est-à-dire sur la partie occidentale de la côte méditerranéenne turque, semblent, à altitudes égales, plus sensibles au gel que celles de la partie orientale : la provenance Bozburun, par exemple, est plus sensible que la plupart des pins *brutia* bien que venant d'une altitude moyenne (500 m).

Parmi les provenances de *Pinus halepensis*, les populations d'Afrique du Nord et d'Italie sont particulièrement sensibles au froid, ainsi que la provenance grecque Elea (Péloponnèse) : les mortalités sont très élevées à Vitrolles pour 2 provenances d'Afrique du Nord (Ouardane Bouksane et Sakiet Sidi Youssef), une provenance espagnole (Soportujar) et la population Elea. L'effet du gel a été accentué sur ces provenances en raison de la faible hauteur des plants (gradient de froid vers le sol). La provenance Elea doit vraisemblablement sa grande sensibilité au froid à son origine thermoméditerranéenne (peuplements à 200 m d'altitude en Grèce méridionale).

Résistance à la sécheresse

Par rapport à la moyenne calculée sur 30 ans (soit 569 mm), le déficit pluviométrique à Marignane, station météorologique proche de Vitrolles, est de 156 mm en 1988, et 369 mm en 1989 (pluviométrie de l'année : 200 mm). L'analyse de variance faite sur la mortalité par sécheresse à Vitrolles en 1990 montre un effet provenance et un effet zone significatifs (respectivement $F = 2,80$, significatif au seuil de 1% et $F = 6,67$, significatif au seuil de 1% : tableau VI). La zone 1 (médiocre) est distincte des 2 autres : la mortalité par sécheresse y est près de 2 fois supérieure à celle observée ailleurs. Une charge en

Tableau VI. Mortalité par sécheresse à Vitrolles en 1989. Ind : indicatif international. MSECp : mortalité moyenne par provenance (%); MSECz : mortalité par zone (%). Les traits verticaux relient les provenances ou les zones non significativement différentes d'après le test de Duncan au seuil de 5%.

Ind	Espèce	Provenance	MSECp	Zone	MSECz
B4	<i>P brutia</i>	Alex	5,46	1	24,09
B15	<i>P brutia</i>	Kisi	5,98	3	14,81
A19	<i>P halepensis</i>	Cehe	7,11	2	13,54
A21	<i>P halepensis</i>	Serr	8,24		
A4	<i>P halepensis</i>	Chal	9,72		
A24	<i>P halepensis</i>	Geme	10,52		
A16	<i>P halepensis</i>	Sopo	11,45		
A26	<i>P halepensis</i>	Otri	11,75		
A23	<i>P halepensis</i>	Tara	12,55		
B6	<i>P brutia</i>	Marm	12,60		
B10	<i>P brutia</i>	Bozb	14,20		
B12	<i>P brutia</i>	Sili	14,88		
A8	<i>P halepensis</i>	Syou	15,78		
B3	<i>P brutia</i>	Lass	16,06		
B7	<i>P brutia</i>	Ispe	17,60		
B8	<i>P brutia</i>	Düzl	18,55		
A14	<i>P halepensis</i>	Bouk	18,65		
A2	<i>P halepensis</i>	Elea	21,74		
A12	<i>P halepensis</i>	Ifra	21,76		
B13	<i>P brutia</i>	Camg	22,16		
B9	<i>P brutia</i>	Pamu	24,65		
B1	<i>P brutia</i>	Chan	31,60		
B11	<i>P brutia</i>	Baka	32,64		
A27	<i>P halepensis</i>	Viga	47,42		

cailloux très importante dans les horizons de surface en est sans doute responsable (réserve en eau faible). Le classement des provenances en fonction de *Msecp* ne sépare pas *Pinus halepensis* et *Pinus brutia* (tableau VI) : l'effet espèce n'est pas significatif au seuil de 5% ($F = 0,19$). Les 10 meilleures provenances sont cependant représentées par 7 provenances de pin d'Alep.

Contrairement à ce qui est constaté pour le pin *brutia*, sensibilité au gel et à la sécheresse vont de pair pour les pins d'Alep : les provenances d'Afrique du Nord ainsi que la provenance grecque Elea cumulent de mauvais résultats face à ces 2 formes de stress. La provenance italienne, Vico Del Gargano est une provenance mal adaptée aux caractéristiques écologiques du site de Vitrolles, ce qui s'est traduit par une très forte mortalité en 1989. Les provenances de *Pinus halepensis* Gemenos, Cehegin et dans une moindre mesure, Serra et Chalkidike sont peu sensibles au gel et à la sécheresse. Une seule provenance de pin *brutia*, Kisildag, cumule la résistance au gel et à la sécheresse.

Résistance à la chenille processionnaire

Le classement des provenances en fonction du pourcentage d'attaque est présenté dans le tableau VII. Le test de χ^2 montre que les différences sont globalement significatives ($\chi^2 = 127,78$ et ddl = 27, significatif à 1%). Le pourcentage le plus faible est obtenu pour un pin *brutia* de Crète (Chania), le plus fort pour un autre *P. brutia* grec (Alexandropolis) et une provenance de *P. eldarica* (Iran II). *Pinus brutia-eldarica* est plus sensible que *Pinus halepensis* : 93,25% d'attaque en moyenne contre 85,89%. Les taux sont cependant élevés pour toutes les provenances. Nous

n'avons pas trouvé de corrélations géographiques et écologiques (longitude, latitude, altitude) avec la sensibilité des provenances. Par contre, 2 paramètres expliquent bien les attaques :

– la position au sein de l'essai : certaines zones ont été plus particulièrement touchées (lisière sud du dispositif : répétitions 1 et 5);

– la hauteur des arbres au moment de l'attaque (*HT83p* mesurée en 1983), les

Tableau VII. Attaque de chenilles processionnaires dans le dispositif de Ceyreste en 1984. Ind : indicatif international. Pourp : pourcentage d'attaque (%).

Ind	Espèce	Provenance	Pourp	Efectif
B1	<i>P. brutia</i>	Chan	67,39	46
A14	<i>P. halepensis</i>	Bouk	70,91	55
A21	<i>P. halepensis</i>	Serr	76,47	51
A24	<i>P. halepensis</i>	Geme	79,17	24
A2	<i>P. halepensis</i>	Elea	80,00	25
A8	<i>P. halepensis</i>	Syou	83,02	53
B3	<i>P. brutia</i>	Lass	83,67	49
B12	<i>P. brutia</i>	Sili	85,90	78
A26	<i>P. halepensis</i>	Otri	86,44	59
A12	<i>P. halepensis</i>	Ifra	86,96	69
B8	<i>P. brutia</i>	Düzl	88,24	34
A19	<i>P. halepensis</i>	Cehe	91,11	45
B13	<i>P. brutia</i>	Camg	91,55	71
A4	<i>P. halepensis</i>	Chal	92,00	50
B6	<i>P. brutia</i>	Marm	92,31	65
B7	<i>P. brutia</i>	Ispe	92,54	67
E3	<i>P. eldarica</i>	Iran	92,54	67
B15	<i>P. brutia</i>	Kisi	93,75	80
A23	<i>P. halepensis</i>	Tara	94,29	35
A16	<i>P. halepensis</i>	Sopo	94,37	71
A27	<i>P. halepensis</i>	Viga	95,65	23
B9	<i>P. brutia</i>	Pamu	95,89	73
B10	<i>P. brutia</i>	Bozb	96,55	87
B14	<i>P. brutia</i>	Basp	97,56	82
B11	<i>P. brutia</i>	Baka	98,67	75
E1	<i>P. eldarica</i>	Iran 1	98,72	78
B4	<i>P. brutia</i>	Alex	100,00	65
E2	<i>P. eldarica</i>	Iran 2	100,00	80

grands sujets étant plus attaqués : une corrélation significative lie *Pourp* et *HT83p* (coefficient de corrélation 0,727 significatif à 1%).

Les 2 provenances originaires de Crète (Chania et Lassithiou) se distinguent de l'ensemble des pins *brutia* par une hauteur faible en 1983 et un taux d'attaque nettement moindre. Les 2 valeurs restent en cohérence avec la relation liant *Pourp* et *HT83p*. L'origine de la sensibilité à la processionnaire ne semble donc pas être d'origine génétique mais il faudrait pouvoir en juger sur un dispositif approprié.

Certains auteurs confirment un déterminisme de l'attaque en fonction de la «silhouette» et du diamètre des aiguilles (Demolin, 1969). À Ceyreste, ce sont les cimes émergentes qui ont recueilli le plus de ponte, la variabilité de la morphologie des aiguilles entre provenances étant faible.

Croissance en hauteur

Le tableau VIII résume les principaux résultats. La moyenne globale est de 154,36 cm à Vitrolles, 11 ans après la plantation, et 143,97 cm à Ceyreste, 13 ans après la plantation. La meilleure provenance à Vitrolles (Cehegin) réalise un gain en hauteur de 20,7% par rapport à la moyenne. Ce gain est de 20,8% à Ceyreste pour la provenance de pin *brutia*, Marmaris.

Les pins d'Alep dominent les pins *brutia* à Vitrolles. Le phénomène inverse se produit à Ceyreste. Les provenances de *Pinus eldarica* occupent également la partie supérieure du classement sur ce site. Plusieurs constatations permettent d'expliquer cette forte interaction génotype x environnement au niveau des espèces :

– à la suite d'une gelée sévère au cours de l'hiver 1976, les pins d'Alep ont subi

une forte mortalité à Ceyreste, dès la plantation. Les mortalités comptées en 1983 en font bien état : 59,3% pour le pin d'Alep à Ceyreste contre 12,8% à Vitrolles; 41,8% pour le pin *brutia* à Ceyreste contre 8,5% à Vitrolles;

– les analyses de sol font apparaître peu de différences entre Vitrolles et Ceyreste, alors que la teneur en calcaire actif est vraisemblablement différente entre les 2 stations : traces pulvérulentes dans le sol et flore typiquement calcicole à Vitrolles (*Erica multiflora*), roche mère gréseuse et présence d'arbousiers (*Arbutus unedo*) à Ceyreste.

Il n'a pas été trouvé de relations entre la croissance et l'origine géographique. Le poids des graines ou la taille des plants à 1 an ne sont pas indicateurs des performances analysées en 1988.

DISCUSSION

Le tableau IX fait la synthèse des résultats obtenus. Les provenances sont classées par ordre de rang moyen croissant (rang du classement sur les hauteurs en 1988). Les provenances de *Pinus eldarica* n'ont été plantées qu'à Ceyreste où les performances sont moyennes à bonnes. Cette espèce, testée en arboretums d'élimination ne donne de bons résultats que sur calcaire (Allemand, 1989). D'après des observations faites en plantation, elle semble par contre très sensible à de nombreux prédateurs.

Les 3 provenances arrivant en tête de classement cumulent la résistance aux stress et des croissances bonnes sur les 2 sites d'expérimentation : Alexandropolis (*P. brutia*), Chalkidike (*P. halepensis*), Silifke (*P. brutia*). D'une façon générale, les provenances les moins performantes sont aussi les plus sensibles au gel et à la sé-

Ind	Espèce	Provenance	HT88
<i>Vitrolles</i>			
A19	<i>P halep</i>	Cehe	186,33
A21	<i>P halep</i>	Serr	185,67
A23	<i>P halep</i>	Tara	179,83
A4	<i>P halep</i>	Chal	174,67
B12	<i>P brutia</i>	Sili	169,50
A27	<i>P halep</i>	Viga	163,33
A12	<i>P halep</i>	Ifra	158,50
A16	<i>P halep</i>	Sopo	156,55
A8	<i>P halep</i>	Syou	155,50
B13	<i>P brutia</i>	Camg	152,50
A14	<i>P halep</i>	Bouk	152,00
B7	<i>P brutia</i>	Ispa	151,33
B9	<i>P brutia</i>	Pamu	150,00
A26	<i>P halep</i>	Otri	147,33
B1	<i>P brutia</i>	Chan	147,33
B6	<i>P brutia</i>	Marm	146,33
B15	<i>P brutia</i>	Kisi	145,67
B11	<i>P brutia</i>	Baka	124,00
B8	<i>P brutia</i>	Düzl	123,17
B3	<i>P brutia</i>	Lass	117,83
B4	<i>P brutia</i>	Alex	179,64
A24	<i>P halep</i>	Geme	174,29
B10	<i>P brutia</i>	Bozb	143,12
A21	<i>P halep</i>	Elea	138,89
<i>Ceyreste</i>			
B6	<i>P brutia</i>	Marm	173,98
B15	<i>P brutia</i>	Kisi	172,21
E2	<i>P eldar</i>	Ira2	168,38
B14	<i>P brutia</i>	Basp	164,89
B4	<i>P brutia</i>	Alex	163,23
B11	<i>P brutia</i>	Baka	161,55
B12	<i>P brutia</i>	Sili	160,99
A4	<i>P halep</i>	Chal	160,09
E3	<i>P eldar</i>	Ira3	157,48
B10	<i>P brutia</i>	Bozb	156,63
B7	<i>P brutia</i>	Ispa	156,45
B9	<i>P brutia</i>	Pamu	155,11
B3	<i>P brutia</i>	Lass	151,06
B13	<i>P brutia</i>	Camg	150,92
E1	<i>P eldar</i>	Ira1	150,02
A19	<i>P halep</i>	Cehe	135,99
B1	<i>P brutia</i>	Chan	135,47
B8	<i>P brutia</i>	Düzl	135,34
A21	<i>P halep</i>	Serr	133,84
A12	<i>P halep</i>	Ifra	130,41
A23	<i>P halep</i>	Tara	129,07
A16	<i>P halep</i>	Sopo	126,67
A2	<i>P halep</i>	Elea	123,23
A24	<i>P halep</i>	Geme	122,80
A26	<i>P halep</i>	Otri	119,38
A27	<i>P halep</i>	Viga	109,23
A14	<i>P halep</i>	Bouk	108,25
A8	<i>P halep</i>	Syou	104,01

Tableau VIII. Classement des provenances d'après les hauteurs totales en 1988 à Vitrolles et à Ceyreste. Les traits verticaux relient les provenances non significativement différentes dans le test de Newman-Keuls au seuil de 5%.

cheresse. Cela tend à prouver que la croissance en hauteur est un caractère à déterminisme complexe et que dans le cas présent, il traduit bien l'adaptation globale du génotype au milieu. Dans une ambiance de sélection moins sévère, le classement aurait pu être sensiblement modifié. Cela pourrait expliquer, par action cumulée du gel puis de la sécheresse, certains résultats différents de ceux obtenus dans les essais italiens (Eccher *et al*, 1987) : Sopotujar, Serra et Otricoli sont décrites par ces auteurs comme sensibles à la sécheresse, alors qu'elles figurent parmi les meilleures à Vitrolles (8–12% de mortalité). Par contre, Vico del Gargano est également signalée comme sensible, ce qui est confirmé sur la dispositif français, la plus forte mortalité étant obtenue pour cette provenance (47,5%). Pamuçak est décrite par Eccher comme résistante à la sécheresse alors qu'elle est parmi les provenances de *P brutia* des plus sensibles à Vitrolles (24,7% de mortalité).

Les 2 meilleures provenances sont originaires du Nord-Est de la Grèce : Chalkidike est un pin d'Alep; Alexandropolis, un pin *brutia*. Quezel et Barbero (1985) notent que des phénomènes d'introgession sont possibles dans les zones de contact entre les 2 espèces. Panetsos (1986) a démontré l'intérêt des hybrides *P halepensis* x *P brutia*. L'obtention est aisée en utilisant *P*

Tableau IX. Classement des provenances d'après le rang moyen sur les hauteurs en 1988.

Espèce	Ind	Prov	RV	RC	RM	Gel	Sèche	Forme
<i>P brutia</i>	B14	Basp	—	4	—	+	—	Accept
<i>P eldarica</i>	E1	Ira1	—	15	—	+	—	*
<i>P eldarica</i>	E2	Ira2	—	3	—	+	—	*
<i>P eldarica</i>	E3	Ira3	—	9	—	+	—	*
<i>P brutia</i>	B4	Alex	4	5	4,5	+	+	*
<i>P halepensis</i>	A4	Chal	5	8	6,5	=	+	*
<i>P brutia</i>	B12	Sili	7	7	7,0	+	=	Accept
<i>P halepensis</i>	A19	Cehe	1	16	8,5	+	+	*
<i>P brutia</i>	B6	Marm	18	1	9,5	+	=	Bon
<i>P brutia</i>	B15	Kisi	19	2	10,5	+	+	Très B
<i>P halepensis</i>	A21	Serr	2	19	10,5	=	+	*
<i>P halepensis</i>	A23	Tara	3	21	12,0	—	=	*
<i>P brutia</i>	B7	Ispa	14	11	12,5	+	=	Accept
<i>P brutia</i>	B13	Camg	12	14	13,0	+	—	Accept
<i>P brutia</i>	B9	Pamu	15	12	13,5	+	—	Très B
<i>P brutia</i>	B11	Baka	22	6	14,0	+	—	Except
<i>P halepensis</i>	A12	Ifra	9	20	14,5	—	—	*
<i>P brutia</i>	B10	Bozb	20	10	15,0	+	=	Bon
<i>P halepensis</i>	A24	Geme	6	24	15,0	+	=	*
<i>P halepensis</i>	A16	Sopo	10	22	16,0	=	=	*
<i>P brutia</i>	B1	Chan	16	17	16,5	+	—	*
<i>P halepensis</i>	A27	Viga	8	26	17,0	—	—	*
<i>P brutia</i>	B3	Lass	24	13	18,5	+	=	*
<i>P halepensis</i>	A8	Syou	11	28	19,5	—	=	*
<i>P halepensis</i>	A14	Bouk	13	27	20,0	—	=	*
<i>P brutia</i>	B8	Duzl	23	18	20,5	+	=	Accept
<i>P halepensis</i>	A26	Otri	17	25	21,0	—	=	*
<i>P halepensis</i>	A2	Eléa	21	23	22,0	—	—	*

RV = rang obtenu sur le classement en hauteur 1988 à Vitrolles; RC = rang obtenu sur le classement en hauteur 1988 à Ceyreste; RM = rang moyen; Gel = mortalité moyenne par gel (+) inférieure ou égale à 10%; (=) supérieure à 10% et inférieure ou égale à 20%; (—) supérieure à 20%. Sèche = mortalité par sécheresse à Vitrolles (mêmes notations que pour Gel). Forme : notation effectuée dans l'air naturelle (Arbez, 1974). Accept = acceptable; Bon = bonne; Très B = très bonne; Except = exceptionnelle; * : non décrite.

brutia comme femelle. Si les provenances issues des zones de contact des 2 espèces se révèlent performantes dans l'ensemble des essais internationaux, cela justifierait une intensification des recherches à leur sujet. Des peuplements naturels de pins d'Alep ont été décrits récemment en Turquie sur la côte Egéenne, entre Izmir et Marmaris, en contact direct avec des forêts de pins *brutia* (Alptekin,

1990). Une situation de même type existe dans la région d'Adana (Quezel, 1980).

Des recommandations en matière de choix de provenances en France peuvent être déduites des essais de Vitrolles et Ceyreste. La discussion doit tenir compte de 3 constatations préalables :

— les sites utilisés sont très limitants sur le plan de la fertilité (sécheresse; sol superfi-

ciel); le terrain de Ceyreste est un milieu peu représentatif de zones potentielles de reboisement en France méditerranéenne;

– des études récentes sur les boisements français de pin *brutia* montrent que cette espèce devrait être utilisée dans une zone écologiquement différente de l'aire actuelle du pin d'Alep (Nouals et Boisseau, 1991) : climat méditerranéen atténué (étage supra-méditerranéen), notamment sur roches marneuses et substrats acides;

– étant donné les tempéraments très différents des espèces de pins de la section *halepensis* et les facilités d'hybridation naturelle, il serait bon de prendre des mesures d'inventaire et de conservation des plus beaux peuplements français de pins d'Alep, en particulier pour éviter la pollution génétique. Le pin *brutia* ne devrait pas être introduit à leur proximité.

Finalement l'essai de Vitrolles, qui est représentatif des conditions de sélection régnant dans l'air actuelle de *Pinus halepensis* en France (zone méso-méditerranéenne sur calcaire), permet d'apporter quelques conclusions sûres pour cette espèce. Les provenances les mieux adaptées et dont la croissance est la moins faible sont représentées par 2 populations espagnoles (Cehegin, Serra), une population grecque (Chalkidike) et la provenance locale Gemenos. La législation actuelle prévoit pour le pin d'Alep l'utilisation obligatoire des provenances françaises. Des dérogations pourraient donc être accordées, les années où les peuplements autochtones ont une production insuffisante, pour les peuplements grecs et espagnols qui ont démontré leur adaptation à Vitrolles.

En matière de pin *brutia*, des plantations productives pourraient être envisagées dans les zones où le froid limite l'extension du pin d'Alep, à des altitudes

moyennes où le cèdre de l'Atlas et les pins noirs ne sont pas encore à leur optimum écologique (étage inférieur du chêne pubescent). Les essais menés en France ne permettent pas d'extrapoler les résultats à ces sites de type «supra-méditerranéen». Les conclusions apportées en matière de résistance au stress hydrique et au froid, ainsi que les connaissances générales existantes sur l'espèce sont cependant suffisantes pour dégager quelques recommandations (en particulier, la variabilité des formes dans l'aire naturelle qui serait sous contrôle génétique; Arbez, 1974). Dans les zones supra-méditerranéennes, où existe un risque de sécheresse prolongée, d'origine édaphique ou climatique, 3 provenances peuvent être conseillées : Silifke, Marmaris et Kizildag. Ces provenances correspondent à des stations de faible altitude (100–370 m). Les formes sont au moins acceptables et, au mieux, très bonnes (tableau IX). Dans les sites sans risques majeurs de sécheresse, un second volet de provenances est à recommander : Pamuçak, Bakara, et Baspınar. Elles correspondent à des origines d'altitudes faibles à moyennes (300–780 m), les formes étant «très bonnes» à «exceptionnelles».

Enfin, la provenance Alexandropolis mérite d'être mieux étudiée en raison de sa bonne résistance au gel et à la sécheresse et des croissances observées sur les 2 sites expérimentaux.

REMERCIEMENTS

Cette étude a pu être réalisée grâce au financement de la Région Provence Alpes Côte d'Azur et de la Communauté économique européenne dans le cadre d'un programme intégré méditerranéen.

RÉFÉRENCES

- Allemand P, Auge P, Birot Y, Ferrandes P (1985) Premiers enseignements des effets du froid de janvier 1985 sur les espèces forestières étudiées en arboretum et en plantations comparatives de provenances en région méditerranéenne française. *For Méditer VII*, 1, 85-90
- Allemand P (1989) *Espèces exotiques utilisables pour la reconstitution du couvert végétal en région méditerranéenne. Bilan des arboreturns forestiers d'élimination*. INRA, Paris
- Alptekin U (1990) Halep çami (*Pinus halepensis* Mill), ın Türkiye ağaçlandırma çalışmalarındaki yeri ve doğal yayılışına ait bazı tesbitler (Quelques réflexions sur l'aire naturelle du pin d'Alep en Turquie et sur son importance dans les reboisements). Univ For, Istanbul, 12 p
- Arbez M (1974) Répartition, écologie et variabilité de *Pinus brutia* en Turquie. *Inf Res-sources Génét For* 3, FAO, 24-37
- Bellefontaine R, Raggabi M (1977) Contribution à l'étude des pins de la section *halepensis* (*P brutia*, *P eldarica*, *P halepensis*) au Maroc : considérations générales et essai international de provenances. *Ann Rech For Maroc* 17, 191-234
- Calamassi R, Falusi M, Tocci A (1980) Variazione geografica e resistenza a stress idrici in semi di *Pinus halepensis* Mill, *Pinus brutia* Ten *Pinus eldarica* Medw. *Ann Ist Sper Selv Arezzo*, XI, 195-230
- Debazac EF (1964) *Manuel des Conifères*. EN-GREF, Nancy
- Debazac E, Tomassone R (1965) Contribution à une étude comparée des pins méditerranéens de la section *halepensis*. *Ann Sci For* 22, 216-254
- Demolin G (1969) Comportement des adultes de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. Dispersión spatiale, importance écologique. *Ann Sci For* 26, 81-102
- Eccher A (1975) *Proposition de méthodes standard pour l'étude comparée de provenances des pins méditerranéens de la section halepensis*. Protocole FAO/SCM/CRFM/4bis, 14 p
- Eccher A, Fusaro E, Pelleri F (1987) Résultats de l'expérimentation italienne sur les principales provenances de pins de la section *halepensis* dix ans après la plantation. *For Méditerr*, IX, 1, 5-14
- Nahal I (1962) Le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill). Étude taxinomique, phytogéographique, écologique et sylvicole. *Ann Ec Nat Eaux For*, XIX, 208 p
- Nouals D, Boisseau B (1991) *Le pin brutia en France continentale*. CEMAGREF, Aix-en-Provence, 86 p
- Panetsos KP (1986) Genetics and breeding in the group *halepensis*. In: *Le pin d'Alep et le pin brutia dans la sylviculture méditerranéenne*. Séries Études CIHEAM, 99-108
- Pelizzo A, Tocci A (1978) Indagini preliminari su semi e semenzali di *Pinus halepensis* e *Pinus brutia-eldarica*. *Ann Ist Sper Selv Arezzo*, IX, 111-130
- Quezel P (1980) Biogéographie et écologie des Conifères sur le pourtour méditerranéen. *Actual Ecol For*, 205-255
- Quezel P, Barbero M (1985) Carte de la végétation potentielle de la région méditerranéenne. Feuille n° 1 : Méditerranée orientale. CNRS, Paris, 65 p
- Weinstein A (1989) Provenance evaluation of *Pinus halepensis*, *P brutia* and *P eldarica* in Israel. *For Ecol Manage* 26, 215-225