

# AUTECOLOGIE<sup>(1)</sup> ET CROISSANCE DU PIN D'ALEP EN PROVENCE CALCAIRE

par Fabien BROCHIERO, Olivier CHANDIOUX,  
Christian RIPERT et Michel VENNETIER \*

## 1.- Introduction

L'étude autécologique du pin d'Alep, s'est inscrite dans un projet d'évaluation des potentialités forestières de la Provence calcaire mené par le Cemagref d'Aix-en-Provence (VENNETIER et RIPERT, 1997), ce qui explique (Cf. Fig. n°1) ses limites actuelles.

Depuis une quinzaine d'années, le Cemagref d'Aix-en-Provence étudie l'autécologie des essences forestières méditerranéennes. 14 essences ont déjà été étudiées, principalement les essences de reboisement. C'est la première fois que l'on s'intéresse aux peuplements spontanés et irréguliers d'un résineux autochtone (voir encadré p. 84 : "la méthode autécologique").

Le pin d'Alep est un des arbres les plus communs sur le pourtour méditerranéen (il occupe 3,5 millions d'hectares selon LE HOUEROU cité par QUÉZEL en 1985). Il est présent sur la quasi-totalité du territoire de la Provence (hors zone de montagne) où il est aussi appelé pin blanc. Il paraît s'adapter à toutes les conditions écologiques, même les plus contraignantes. C'est, avec le pin sylvestre, le résineux



Photo 1 : Belle futaie de pin d'Alep à Super Gémenos (Bouches-du-Rhône)

Photo J.L. / Fomed

le plus abondant en région méditerranéenne française

Son écologie, sa croissance en volume, et son traitement sylvicole ont été étudiés par les forestiers et les scientifiques (PARDÉ, 1957 ; NAHAL, 1962 ; ABBAS et al, 1985 ; DOUHERET, 1992 ; COUHERT et DUPLAT, 1992), mais les connaissances de son autécologie et de sa croissance en hauteur demeuraient limitées. Cet arbre était laissé un peu pour compte en raison de sa grande plasticité et de sa frugalité.

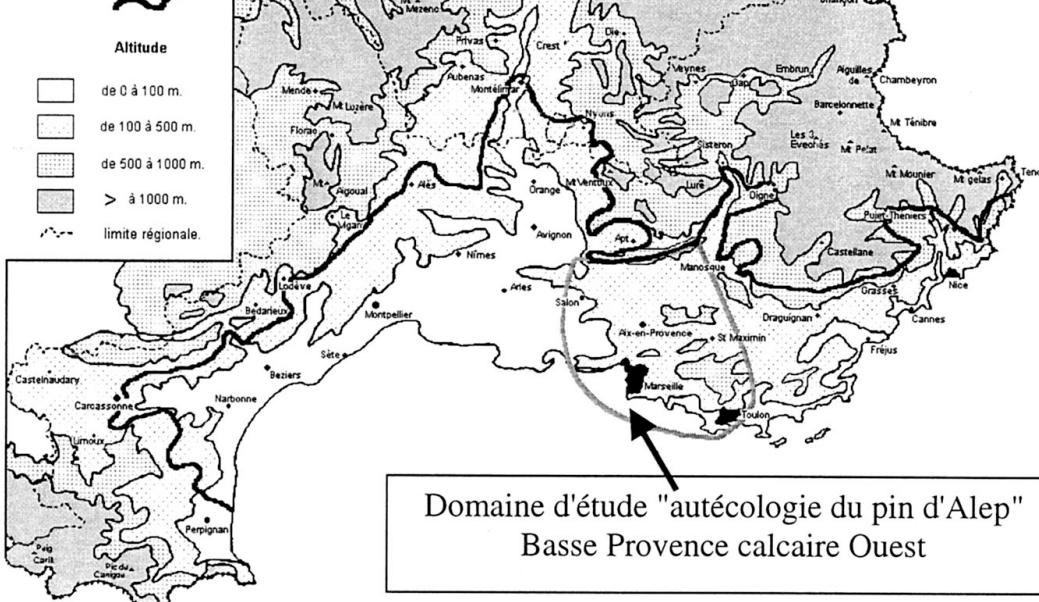
## 2.- Présentation du pin d'Alep

A la fois héliophile et thermophile, le pin d'Alep présente un caractère colonisateur très marqué. Surnommé le "romanichel des bois" par PARDE (1957), le pin d'Alep est un arbre très controversé. Souvent décrié, il a eu pendant longtemps la sinistre réputation "de propager le feu", "d'éliminer

\* Cemagref, groupement  
d'Aix-en Provence, Le Tholonet BP 31  
Aix-en-Provence

(1) Voir encadré p. 84

**Fig. 1**  
Limite du pin d'Alep en France



## RAPPEL DE LA METHODE AUTECOLOGIQUE

### DEFINITION :

Déterminer dans un domaine d'étude les facteurs écologiques qui expliquent au mieux la croissance d'une essence donnée.

### PRINCIPE : Utiliser les informations fournies par les boisements existants

- Petits ou grands
- Echecs ou réussites
- Pourvu qu'ils soient en conditions forestières.

**Les décrire, les mesurer → les comparer → Expliquer les différences**

### BUT : fournir un outil d'aide la décision permettant de faire :

- un diagnostic rapide sur un peuplement existant,
- un choix d'essence pour un reboisement ou la gestion,
- une comparaison entre plusieurs essences.

Les prédictions de fertilité annoncées n'ont d'autre objectif que de permettre à partir d'observations de terrain de répondre aux deux questions suivantes :

- ❖ Est-ce que telle essence est adaptée à ce terrain ou à cette station ?
- ❖ Quelle sera approximativement sa croissance, sa hauteur à un âge donné ?

### Liste des espèces déjà étudiées

Pins (7 espèces): pignon, laricio, Salzmann, brutia, eldarica, noir d'Autriche, Alep

Sapins (4 espèces): nordmann, céphalonie, pinsapo, pectiné

Chênes (2 espèces): blanc (pubescent), liège

Cèdre de l'Atlas

Cyprès vert

### Amplitude des hauteurs possibles à des âges donnés pour quelques résineux

	Amplitude des hauteurs possibles		
	à 30 ans	à 50 ans	à 80 ans
Cèdre de l'Atlas (RIPERT et BOISSEAU)	1,5 à 12 m	4 à 24 m	8 à 36 m
Pin d'Alep (COUHERT et DUPLAT)	3 à 12 m	4 à 18 m	5 à 24 m
<b>Pin d'Alep (BROCHIERO)</b>	<b>4 à 15 m</b>	<b>5 à 18 m</b>	<b>7 à 27 m</b>
Pin Brutia (NOUALS et BOISSEAU)	2,5 à 17 m		
Pin de Salzmann (TANGHE)	2 à 13 m	4 à 22 m	5 à 27 m
Pin noir d'Autriche (D'EPENOUX)	4 à 13 m	7 à 22 m	7 à 26 m
Pin laricio de Corse (COMMERCON)	6 à 17 m	10 à 28 m	12 à 34 m
Sapins méditerranéens (COLOMBET)	3 à 15 m	6 à 28 m	8 à 14 m

le chêne" mais aussi "de ne pas être une essence locale". Est-ce pour ces raisons qu'il n'est pas considéré et entretenu comme les autres essences ? Depuis quelques années, les forestiers essaient de réhabiliter le "pin blanc" et tentent désormais de proposer une sylviculture adaptée (NEVEUX et al., 1986 ; DOUHERET, 1992 ; ONF et CRPF PACA, 1992 ; STIR MÉDITERRANÉE, 1996). Une étude récente du Centre régional de la propriété forestière PACA va dans ce sens (D'HANENS, 1997).

## Expansion géographique

En raison de la déprise rurale qui sévit en région méditerranéenne française, le pin d'Alep, essence pionnière, a vu passer la surface de ses peuplements de 36 000 ha à 232 000 ha en un siècle (Cf. Tab. I). Il occupe maintenant 1,6% de la surface forestière française, soit le 6<sup>ème</sup> rang pour les résineux. Il est dominant en Provence où il fait partie intégrante du paysage et de la culture (c'est l'arbre de Pagnol et de Cézanne). Il peuple également certains secteurs du Languedoc-Roussillon où il couvre actuellement environ 30 000 ha (LECOMTE, 1993).

L'expansion du pin d'Alep en France continue malgré (ou à cause de) l'importance des incendies qui affectent chaque année plusieurs milliers d'hectares de forêt (BARBERO et QUÉZEL, 1990). Pour NAHAL (1962), il ne faut pas négliger dans cette extension, la place due aux plantations artificielles du début de siècle à objectif de production de gemme (principalement dans les Bouches-du-Rhône), qui ont été des foyers de dissémination.

## Production ligneuse

La forte dynamique du pin d'Alep se traduit par l'évolution rapide de la ressource forestière constatée sur 10 ans entre les deux tours successifs de l'Inventaire forestier national (I.F.N.) :

- + 24% en surface,
- + 39% en volume sur pied et
- + 65 % pour l'accroissement.

Cf Tab. II

La récolte totale ne dépasse guère 50 000 m<sup>3</sup>/an (THIBAUT et al., 1992), soit 10% seulement de la production, destinée en grande majorité à la papeterie.

Date (années)	1878	1912	1956	1986	1995
Surface occupée par le pin d'Alep (en milliers d'ha)	36	105	135	213	232

Tab. I : Evolution de la superficie couverte par le pin d'Alep en France

	Surface (ha)	Volume (m <sup>3</sup> )	Volume/ha (m <sup>3</sup> /ha)	Accroissement (m <sup>3</sup> /an)	Accroissement (m <sup>3</sup> /ha/an)
<b>Total France</b>	<b>236 000</b>	<b>10 900 000</b>	<b>46,2</b>	<b>515 000</b>	<b>2,2</b>
<b>Total Provence</b>	<b>202 000</b>	<b>9 500 000</b>	<b>47</b>	<b>450 000</b>	<b>2,2</b>
<b>Provence récoltable</b>	<b>56 000</b>	<b>4 400 000</b>	<b>78,6</b>	<b>215 000</b>	<b>3,8</b>

Tab. II : Ressource totale et ressource exploitable (d'après THIBAUT et al., 1992).

Classes de fertilité	Hauteur dominante à 50 ans	Accroissement moyen maximal (m <sup>3</sup> /ha/an)
1	16	6,3
2	12	3,1
3	8	1

Tab. III : Modèle proposé par COUHERT et DUPLAT (1993)

Département	Surface (ha)	Volume (m <sup>3</sup> )	Production (m <sup>3</sup> /ha/an)
<b>Bouches du Rhône</b>	<b>57 996</b>	<b>2 494 811</b>	<b>2,2</b>
Var	90 134	4 097 374	2,3
Vaucluse	30 008	1 526 174	2,2
Aude	8 570	480 570	2,8
Gard	7 280	245 916	2
Hérault	11 680	515 796	2,4

Tab. IV : Principales caractéristiques des peuplements de pin d'Alep dans quelques départements méditerranéens (source : IFN)

Peu d'études dendrométriques sont disponibles pour évaluer l'accroissement en hauteur et volume (PARDÉ, 1957 ; ABBAS, 1983 ; COUHERT et DUPLAT, 1993). Cf. Tab III

PARDÉ (1957) avance des hauteurs dominantes de 18 m, voire exceptionnellement 20 m atteintes à l'âge d'exploitabilité (estimé à 70-80 ans). Il fait état de productions atteignant 3 à 5 m<sup>3</sup>/ha/an en forêt communale de Gémenos sur les meilleures stations. Selon lui, en France, sur sol superficiel,

le pin d'Alep présente en moyenne à 70-80 ans les caractéristiques suivantes :

- des hauteurs moyennes totales de l'ordre de 14 mètres,
- des volumes sur pied d'environ 70 à 80 m<sup>3</sup>/ha,
- des productions par hectare et par an depuis l'origine d'environ 1,5 m<sup>3</sup>.

Les données de l'IFN les plus récentes font état de productions annuelles moyennes plus élevées (Cf. Tab. IV).

### **3.- Etude des peuplements de pin d'Alep en Provence calcaire**

#### **Le domaine d'étude**

La zone d'étude couvre 500 000 ha en Provence calcaire ouest (Cf. Fig. 1). Elle s'inscrit dans un quadrilatère entre Martigues, Cavaillon, Manosque et Toulon. Elle est délimitée au nord par la crête du Luberon, à l'Est par la vallée du Gapeau. Elle se subdivise en deux zones bioclimatiques : basse Provence et arrière pays méditerranéen (RIPERT et NOUALS 1988). Celles-ci recoupent approximativement les étages méso-méditerranéen pour la première et supra-méditerranéen pour la seconde.

D'après les données les plus récentes de l'Inventaire Forestier National (IFN) concernant les départements des Bouches-du-Rhône, du Var, du Vaucluse et des Alpes de Haute-Provence, nous avons pu estimer la surface forestière occupée par le pin d'Alep dans la zone d'étude : environ 95 000 ha soit à peu près 20% du territoire étudié.

#### **Le plan d'échantillonnage**

Le plan d'échantillonnage est basé sur la combinaison de 4 facteurs principaux dont les études précédentes ont montré le rôle important :

- le substrat : roches et formations superficielles,
- les secteurs climatiques : basse Provence et arrière-pays méditerranéen,
- l'altitude : 4 classes de 200 m d'amplitude entre 0 et 800 m,
- l'exposition - indice de rayonnement de Becker (IKR) : stations fraîches, stations neutres, stations chaudes.

#### **Contrainte de l'échantillonnage**

L'échantillon devait être bien réparti au niveau géographique, à la fois dans le sens Nord-Sud, correspondant à un gradient de continentalité, mais aussi dans le sens Ouest-Est, correspondant à un gradient d'humidité et de pluviométrie.

Les peuplements inventoriés devaient comporter des pins d'Alep, adultes si possibles, mais aussi des jeunes pins ayant poussé sans être dominés, pour permettre une évaluation des vitesses de croissance à différents âges. On a recherché des peuplements mixtes pins d'Alep – chênes, peu anthropisés et le moins perturbés possibles, assez âgés, irréguliers et suffisamment ouverts pour que la flore puisse exprimer au mieux les potentialités de la station. Ce qui exclut les peuplements ayant subi une perturbation récente : incendie depuis moins de 30 ans, débroussaillement, coupe importante...

#### **Acquisition de données**

Les facteurs relevés peuvent être classés dans les catégories suivantes :

- variables géographiques (petites régions naturelles du Cemagref, distance à la mer, ...),
- variables climatiques (pluviométrie et température moyenne, nombre de mois secs, ...),
- variables topographiques (topographie stationnelle, exposition à plusieurs échelles, pente, confinement...),
- variables géologiques et lithologiques (nature de la roche, fissuration, fracturation, ...),
- variables pédologiques (formation superficielle, texture, pourcentage de cailloux, ...),
- facteurs anthropiques (banquettes, épierrage, ...),
- variables dendrométriques et structure des peuplements,
- variables floristiques (abondance

/dominance des plantes, y compris les arbres).

Les mesures sont réalisées sur des placettes de forme et de surface variables (de l'ordre de 4 ares en moyenne) correspondant à une zone dont les conditions écologiques sont les plus homogènes possibles. Pour ce faire, on se base sur plusieurs critères écologiques : exposition, topographie, sol et formation géologique, flore.

Pour chaque placette, on a mesuré sur 1 à 5 pins d'Alep la hauteur, la circonférence à 1,3 m et l'âge (sondage au cœur à la tarière de Pressler).

Afin de modéliser la croissance en hauteur, 86 analyses de tiges ont été effectuées sur un échantillon de pins d'Alep.

#### **Caractéristiques de l'échantillon obtenu**

Nous disposons pour cette étude autécologique du pin d'Alep d'une base de données de 264 relevés, et de 900 couples âge/hauteur. L'échantillon présente les caractéristiques suivantes :

- des peuplements généralement assez jeunes (moyenne 70 ans, extrêmes 30-150 ans), d'une hauteur comprise majoritairement entre 9 et 15 mètres (extrêmes 5-23m),
- une bonne répartition géographique et altitudinale,
- une localisation centrée préférentiellement sur les roches mères calcaires, dominantes dans la région,
- des sols fréquemment superficiels et caillouteux.

Les peuplements sont représentatifs des formations forestières provençales où le pin d'Alep prédomine. Ces peuplements sont majoritairement irréguliers, inéquennes et mélangés avec des feuillus.

### **4.- Modélisation de la croissance et calcul d'un indice de fertilité**

La modélisation présentée dans le cadre de cette étude est représentative de la croissance du pin d'Alep en Provence calcaire.

#### **Les travaux préexistants**

Seuls COUHERT et DUPLAT (1993) avaient jusqu'à présent proposé un

modèle de croissance en hauteur du pin d'Alep, pour les peuplements quasi-équennes et purs en Provence-Alpes-Côte d'Azur. Ils proposent diverses sylvicultures et une table de production pour les peuplements réguliers de pin d'Alep. Nous n'avons pas utilisé directement leur modèle car

nous avons travaillé sur des peuplements majoritairement irréguliers et inéquennes. A posteriori, il s'avère que notre modèle, bien que d'un autre type mathématique, donne des courbes de croissance relativement proches des leurs. Les deux études se confortent ainsi mutuellement.

## 4.2 Les données

Nous avons réalisé 86 analyses de tiges sur 31 sites bien répartis géographiquement, climatiquement et représentatifs des différentes roches. La modélisation de la croissance en hauteur du pin d'Alep a été réalisée à partir de ces analyses de tiges.

De plus, nous disposons des couples âge/hauteur, relevés sur les 260 placettes de l'étude autécologique, qui permettent d'affiner l'interprétation des courbes.

## 4.3 Choix des arbres

Pour chaque peuplement échantillon, le choix des tiges à mesurer s'effectue selon des critères de dominance et de catégorie de diamètre. Les arbres choisis font partie des plus grands et des plus gros dominants de leur génération, que ce soit de la première, de la seconde génération, voire de la troisième. Cependant, ces critères ne sont que visuels, et peuvent être source d'erreurs, étant donné que l'histoire des peuplements est inconnue.

Les tiges analysées ne présentent pas de signes pathologiques externes. En effet, la présence de carpophores sur les troncs dénote l'existence d'une pourriture du bois, rendant la lecture aléatoire voire impossible. Ne sont abattus que des sujets sains, bien portants et sans gros défauts (cime cassée, grosse fourche, arbre très penché ou très mal conformé,...).

La présence de faux-cernes a été observée sur de nombreuses tiges. D'après SERRE-BACHET (1992), c'est un phénomène fréquent chez le pin d'Alep, dont la croissance est polycyclique.

## 4.4 Modélisation

Cette modélisation diffère de celles qui ont été proposées jusqu'à présent. Le modèle créé est seulement valable au niveau d'un arbre (indice arbre), et



**Photo 2 : Pinède claire avec sous-étage de chêne vert, sur le plateau du Cengle (Bouches-du-Rhône)**

Photo J.Laurent / Fomed

## 2 - EFFET GENERATION

Les boisements naturels que l'on rencontre dans notre région se sont souvent constitués par étapes successives. Si bien qu'on peut trouver sur une même station des arbres de différentes générations :

- des vieux qui se sont installés en pionniers en tout début de reconstitution forestière, dans des conditions défavorables, et qui ont poussé lentement, souvent isolés, en peuplements clairsemés ou en bouquets.
- des arbres d'âge intermédiaire qui ont bénéficié d'un début de remontée écologique, de l'abri des aînés, et ont commencé à croître un peu plus rapidement,
- des arbres plus jeunes qui ont bénéficié d'une maturation biologique encore plus avancée en ambiance forestière, dont la vitesse de croissance s'est nettement accélérée. Ils sont souvent aussi hauts, quelquefois même dépassent, leurs parents deux ou trois fois plus âgés.

Il est probable que les changements climatiques à long terme, l'accroissement du taux de CO<sub>2</sub> et les dépôts azotés atmosphériques contribuent significativement, comme dans toute l'Europe, à l'accélération de la croissance des arbres au fil des générations.

Globalement, cette accélération se traduit par une élévation régulière depuis 100 ans de 4,64 cm/an de l'indice H70 pour l'ensemble des milieux. Comme nous l'avons déjà vu, l'indice de fertilité de nos placettes est une moyenne d'indices arbres calculés sur des sujets de différentes générations. Il ne peut donc rendre compte de la croissance particulière des générations les plus récentes ou des plus vieilles, de même qu'il ne peut rendre compte de manière précise de la fertilité actuelle de certaines stations. Celles qui présentent une remontée biologique avancée ont tendance à être sous estimées et inversement.

La fertilité d'un site pour une essence particulière apparaît donc comme une notion évolutive.

non au niveau d'une placette ou d'un peuplement. On tient compte ainsi des variations de la croissance pouvant exister entre les arbres de différentes générations.

Sur une placette, nous avons donc plusieurs indices arbres. **L'indice de**

**fertilité de la placette se calcule en faisant la moyenne des indices arbres de la placette considérée.**

La modélisation a été réalisée par J.C. HERVÉ, biométricien à l'ENGREF de Nancy.

Le modèle de Richards a été retenu. Pour un arbre donné il s'écrit :

$$H = H_{\max}(1 - e^{(-0.021 \times \text{âge})^{1.5385}})$$

avec :

- *Hmax : paramètre dépendant de l'arbre (hauteur finale atteinte pour un âge très élevé),*

- *âge : nombre de cernes à la base de l'arbre,*

- *les coefficients numériques (-0.02 et 1.5385) permettent d'ajuster le modèle aux courbes de croissance observées.*

Ce modèle permet le calcul de l'indice arbre, à un âge de référence qui a été fixé à 70 ans (H70).

Cet âge, voisin de l'âge d'exploitabilité habituel en Provence, est proche de la moyenne des âges de notre échantillon. Le modèle permet de dessiner un faisceau de courbes représentatives de la croissance des arbres. Nous avons choisi de distinguer 5 classes de fertilité d'amplitude 3,35 mètres (Cf. Fig. 2).

Il est possible d'obtenir sur la même station des indices arbres assez différents, couvrant plusieurs classes de fertilité, malgré l'homogénéité de la station, en raison d'un effet génération (voir encadré p. 87 : "l'effet génération").

## 5.- La croissance du pin d'Alep en relation avec les facteurs du milieu

### Influence générale des facteurs du milieu sur la croissance du pin d'Alep

Voir Tab. V

#### - sur les macro-facteurs

Dans la zone d'étude, la pluviométrie et la température sont tous deux corrélés, mais en sens inverse, avec l'accroissement d'altitude sur les reliefs et la continentalité. L'influence favorable d'un surplus de pluie est donc compensé généralement par une baisse défavorable des températures et vice-versa.

Cela explique en partie que les analyses ne révèlent aucun facteur climatique de façon significative. Toutefois, il apparaît que les altitudes supérieures à 600 mètres, à l'intérieur des grands massifs (Sainte Baume, Sainte Victoire, Luberon...) sont limitantes pour le développement du pin d'Alep :

Variables abiotiques Classes	Défavorable IV et III	Intermédiaire III et II	Favorable II et I
Type thermique Cemagref	frais	doux et chaud	
T°C moyenne annuelle	< 11°C	> 11°C	
Pluviométrie annuelle	> 950 mm	650 à 950 mm	< 650 mm
Distance à la mer OSO	> 60 km		< 60 km
Topographie générale	haut de pente, sommet, croupe	plateau, mi-pente, bas de pente, plaine	vallée, vallon
Epaisseur de la colluvion	< 20 cm	20 à 50 cm	> 50 cm
Facteurs anthropiques	absence	faible (épierrage)	fort (restanques)
Affleurements rocheux	> 10%	0 à 10%	absence
Pente	> 27°	11 à 27°	< 11°
Topographie transversale	convexe	intermédiaire	concave
Formation superficielle	Roche-mère	altérite, éboulis	colluvion
Charge en cailloux	> 60%	30 à 60%	0 à 30%
Texture	sols sableux	tendance marquée d'une texture	sols équilibrés (LSA)
Test tarière moyen	< 20 cm	20 à 55 cm	> 55 cm
IKR (Indice de rayonnement)	très chaud, très frais	frais et chaud	intermédiaire

Nota : en grisé, sont figurés les facteurs du milieu les plus explicatifs de la croissance du pin d'Alep

Tab. V : Facteurs du milieu explicatifs de la croissance du pin d'Alep.  
(d'après analyses de variances)

neige lourde, vent violent fréquent, température minimale très basse, nombre de mois froids importants, température moyenne annuelle < à 11°C.

Cette tendance s'exprime à travers plusieurs facteurs qui sont liés à ces grands massifs induisant des températures fraîches : la distance à la mer, les petites régions naturelles correspondant au Luberon, les types thermiques du Cemagref. La fertilité moyenne est meilleure en basse Provence qu'en arrière pays, ce qui va dans le même sens. La continentalité apparaît ici comme globalement défavorable.

#### - sur les méso-facteurs

Au niveau de l'unité écologique, la topographie générale est déterminante pour la croissance du pin d'Alep. Dans les vallées, vallons, plaines et plateaux, le pin d'Alep présente une

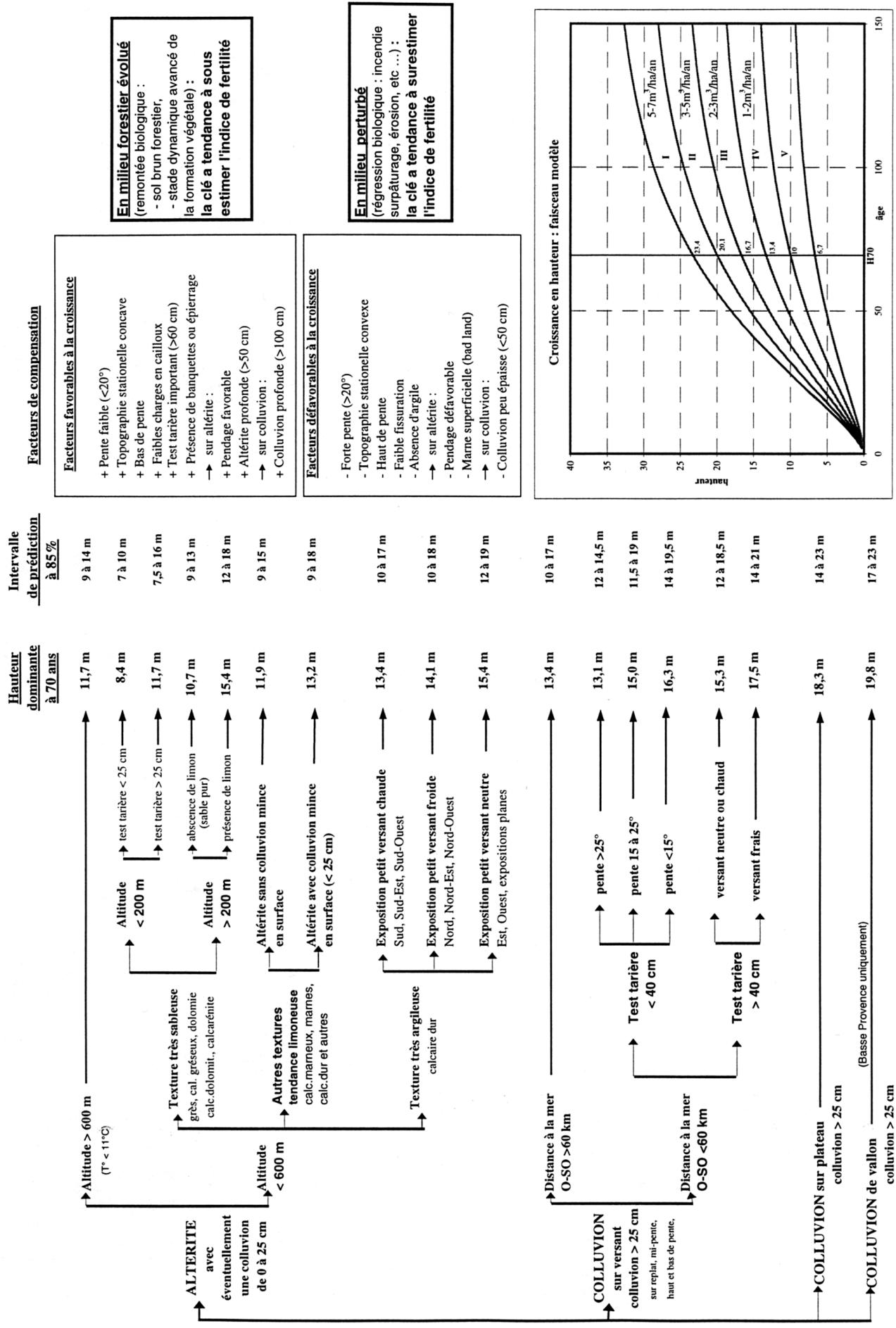
croissance en hauteur élevée, tandis que les hauts de pente sont beaucoup moins favorables. La nature de la roche, et sa réaction à l'acide chlorhydrique (présence de calcaire actif) ne sont pas primordiales. Cependant, les roches à altérite sableuse (dolomie, grès, calcarénite, ...) paraissent moins favorables, que les congolomérats, calcaire pseudobréchique et calcaire dur.

#### - sur les facteurs stationnels

De nombreux facteurs stationnels ont une liaison significative avec la croissance en hauteur du pin d'Alep. Ils concourent tous au **bilan hydrique stationnel**, qui s'avère une fois de plus **déterminant**, comme dans toutes les études antérieures menées en région méditerranéenne. Un bilan hydrique élevé est synonyme de bonne fertilité.

La croissance du pin d'Alep apparaît meilleure pour les expositions intermédiaires, plus faible pour les expositions très chaudes. Les sols à texture

**Figure n° 2** Clé de détermination de la fertilité des stations pour le pin d'Alep en Provence calcaire ouest





**Photo 3 : Pinède sur barre calcaire à Meyreuil (Bouches-du-Rhône)**

Photo R.Schiano / Fomed



**Photo 4 : Pin d'Alep sur argilite - Sainte Victoire (Bouches-du-Rhône)**

Photo J.L. / DDAF 13 / Fomed

équilibrée (Sable+Limon+Argile) correspondent à de bonnes fertilités, à l'opposé des limons purs ou des argiles lourdes moins favorables, et des sols sableux, très filtrants, qui induisent de faibles croissances.

### **Etude de la flore**

Au même titre que les facteurs abiotiques, la flore peut constituer un bon critère synthétique d'appréciation des conditions du milieu.

Elle est étudiée selon des méthodes classiques de la phytosociologie. Les analyses statistiques (AFC, CAH et profils indicés) ont permis de déterminer des groupes phytogéologiques. Mais peu de ces groupes sont significativement liés à l'indice de fertilité, et donc susceptibles d'être indicateurs de la croissance du pin d'Alep.

Ceci s'explique par deux raisons :

- D'une part, en région méditerranéenne, tous les milieux ont subi des perturbations d'origine anthropique. La végétation actuelle, dépendante de stades d'évolution ou de régression, ne reflète donc que partiellement les véritables potentialités des stations,

- d'autre part, sur la zone d'étude, la flore est fortement corrélée aux gradients climatiques, alors que la croissance du pin d'Alep est surtout sous la dépendance de facteurs topographiques et édaphiques.

Les relations flore/croissance du pin d'Alep étant limitées, la construction de la clé autécologique repose uniquement sur des facteurs abiotiques. Toutefois, la flore nous a aidés à valider le choix des descripteurs dans la clé.

## **6.- Présentation et utilisation de la clé autécologique**

### **Principe général de construction**

L'objectif premier d'une clé autécologique est de permettre la détermination de la fertilité d'une station pour une essence donnée à partir de l'observation d'une série de facteurs écologiques, faciles à mesurer ou à évaluer sur le terrain.

L'étude consiste donc à déterminer les facteurs écologiques caractéristiques du milieu qui influent de manière significative sur la croissance en hauteur de l'essence.

La méthode repose sur une analyse statistique de tous les relevés phytosociologiques et dendrométriques. A chaque niveau de segmentation de la clé, on recherche le ou les facteurs écologiques qui permettent de scinder l'échantillon de départ en 2 sous-échantillons présentant les indices moyens de fertilité les plus éloignés.

## Utilisation de la clé

### *Cheminement dans l'arborescence*

La clé présente plusieurs niveaux donnant lieu à des divisions successives (cf. Fig. 2).

- **Au premier niveau**, le facteur discriminant est d'ordre édaphique. L'utilisateur doit creuser une fosse d'au moins 30 cm de profondeur, ou observer à proximité immédiate de la station une coupe de sol.

Il détermine ainsi s'il se trouve sur une **colluvion** ou une **altérite**.

En présence d'une colluvion (matériau allochtone apporté en un site sous l'effet de la gravité ou du ruissellement) d'une épaisseur supérieure à 25 cm, la fertilité du pin d'Alep apparaît bien meilleure.

- Dans les **colluvions**, on distingue trois cas suivant la position topographique :

- les situations de fond de vallon à bilan hydrique élevé,

- les situations sur plateau où la colluvion est issue des épandages latéraux ou de l'affaissement du karst. Ces situations sur plateau sont des zones à pente faible à nulle sur des plateaux au sens géomorphologique (plateaux de Signes, de l'Arbois, de Rians, du Cengle,...)

- les autres cas, correspondant à toutes les situations sur sommet, crête, et versant (haut, bas et mi-versant, y compris les replats de quelques ares à quelques hectares).

- **Au deuxième niveau**, les facteurs discriminants sont d'ordre climatique (altitude et distance à la mer). Ils se traduisent par des contraintes ther-



**Photo 5 : Pinède sur terrasse anciennement cultivée (sol colluvial)**

Photo J. Ladier / Fomed



**Photo 6 : Pinède sur altérite de calcaire marneux**

Photo B.B., C.N. / Fomed

miques (températures trop faibles) qui raccourcissent la durée de végétation.

L'altitude élevée ( $> 600$  m) et une distance à la mer en direction de l'Ouest-Sud-Ouest  $> 60$  km sont suffisamment discriminantes pour individualiser deux branches sans division supplémentaire.

Il est utile de préciser qu'au-dessus de 600 mètres d'altitude, le pin d'Alep se rencontre presque exclusivement sur des altérites et des sols peu fertiles. Les autres types de stations, colluviales, plus fertiles, sont dominées par le chêne pubescent ou le pin sylvestre. Pour la même raison, la branche "colluvion de vallon" ne concerne que la basse Provence.

- **Au troisième niveau**, deux facteurs se distinguent :

- *La texture de l'altérite :*

- Les textures très sableuses, caractérisées par un toucher grossier, un échantillon de terre peu cohérent - même à l'état humide - et qui **cristalle à l'oreille** lorsqu'on le malaxe, induisent des sols filtrants et pauvres, défavorables à la croissance du pin d'Alep.

- Les textures très argileuses sont caractérisées par une cohérence à l'état sec, un caractère collant à l'état humide et en tout cas une **forte résistance à l'écrasement** doublée d'une capacité de modelage telle que l'on devrait être capable de former une couronne avec un boudin de terre humide. Elles réagissent à l'inverse des sables (bonne rétention en eau).

- *Le test tarière sur colluvion :*

Il se pratique avec une tarière hélicoïdale de 3 cm de diamètre. La profondeur retenue est la moyenne de 5 points de tariérage sur la station.

- **Aux quatrième et cinquième niveaux**, les facteurs utilisés sont plus variés mais peuvent presque tous s'interpréter en terme de bilan hydrique :

- Altitude

- Test tarière

- La présence ou l'absence de limon qui se détecte par un toucher soyeux et poudreux et une capacité à **tâcher les doigts**,

- La présence ou l'absence d'une colluvion peu épaisse sur altérite (épaisseur  $< 25$  cm).

- L'exposition du petit versant qui

correspond à l'exposition générale du versant à l'échelle de la centaine de mètres au kilomètre,

- La pente se mesure en degrés au clinimètre. Son augmentation favorise le ruissellement, induisant une baisse de la fertilité du pin d'Alep.

### **Hauteur prédictive**

La hauteur moyenne est une hauteur escomptée à 70 ans. Celle-ci peut varier au sein d'un même type de station. Cette variabilité est exprimée par l'intervalle de prédiction, délimité par deux hauteurs (minimum et maximum) dans lequel 85% des stations devraient se situer.

### **Facteurs de compensation**

Il s'agit d'un certain nombre de facteurs abiotiques faciles à appréhender sur le terrain (pente, topographie, charge en cailloux, ...) qui permettent de savoir si la station donnée présentera une fertilité qui tend plutôt vers le haut de l'intervalle de prédiction (facteurs favorables nombreux ou très puissamment représentés) ou plutôt vers le bas (facteurs défavorables dominants).

### **Faisceau modèle de la croissance en hauteur**

Ce faisceau a été construit à partir de notre modèle de croissance. Les indications de production en  $\text{m}^3/\text{ha/an}$  sont issues de l'étude de COUHERT et DUPLAT (1993).

Pour connaître la classe de fertilité d'un arbre donné, on mesure son âge et sa hauteur qu'on reporte sur le graphique. Par extrapolation en suivant le faisceau de courbes, on peut évaluer la hauteur à un âge donné dans le passé ou le futur, et en particulier l'indice de fertilité correspondant à la hauteur à 70 ans. C'est ainsi que l'on peut recaler un peuplement observé par rapport à la hauteur prédictive par la clé autécologique

### **Exemple d'utilisation de la clé**

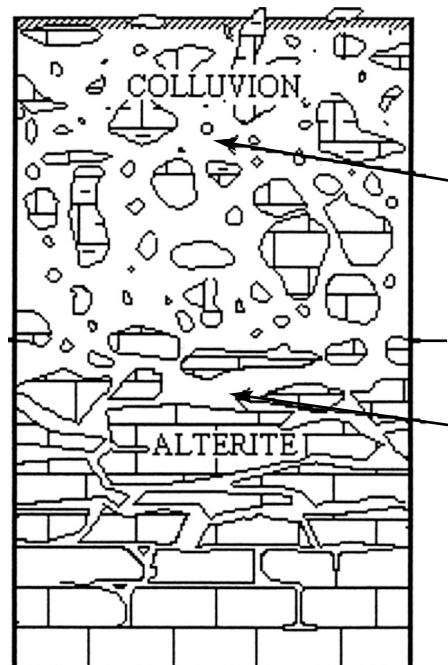
A partir de l'exemple d'une "station virtuelle", on va suivre une branche de la clé comme un gestionnaire le ferait sur le terrain.

Cette station dont le sol est représenté ci-dessous est située sur le versant sud de la chaîne de l'Etoile (Bouches-du-Rhône) vers 360 mètres d'altitude. Elle présente une pente d'environ 6°, possède un sol à la texture argileuse et la moyenne des 5 tests tarières est de 28 cm.

Sur la représentation du sol ci-dessous, on observe une colluvion de 35 cm (mélange incohérent d'éléments grossiers de taille et de nature différente) surmontant une altérite de calcaire dur (éléments grossiers en place mais disjoints).

On se trouve donc dans la branche **COLLUVION sur pente**.

Le massif de l'Etoile se situe à moins de 60 km de la mer en direction de l'Ouest - Sud Ouest.



Mélange de terre et d'éléments grossiers issus du transport de matériaux le long de la pente

35 cm

Eléments grossiers issus de l'altération de la roche en place

Le test tarière est inférieur à 40 cm et la pente est inférieure à 15°.

Les différentes étapes décrites ci-dessus nous permettent de cheminer dans la clé et d'arriver au résultat d'environ 16 mètres de hauteur prédictive à 70 ans sur cette station.

La description faite de cette station ne permet pas de dégager de facteurs de compensation autre que la faible pente. On devrait donc se situer dans le milieu de l'intervalle de confiance qui va de 14 à 19.5 mètres.

A titre indicatif et d'après les clés autécologiques fournies par le guide technique du forestier méditerranéen, le chêne pubescent pourrait mesurer sur cette station de 7 à 9 mètres et le cèdre de l'Atlas se situerait en limite de classe IV et de classe III, soit environ 13 mètres à 70 ans.

## Limites d'utilisation de la clé

La clé autécologique présente différentes limites :

- Une limite intrinsèque, liée à la méthode utilisée (échantillonnage, traitements statistiques, choix du rendu ...). Les intervalles de prédiction sont relativement larges mais restent cohérents avec l'unique l'objectif de l'outil : permettre d'apprécier si une espèce est adaptée à un type de terrain ou à une station.

- Cet outil se veut simple d'emploi, accessible à tout praticien, et basé sur des observations faciles à effectuer sur le terrain.

- Cette clé ne prend pas en compte les problèmes d'effet génération (voir encadré p. 87) ce qui oblige à être prudent si on veut se projeter dans l'avenir.

- Enfin la zone d'étude sur laquelle a été construite cette clé ne concerne qu'une partie de l'aire de répartition du pin d'Alep en France.

La clé a été testée hors du domaine d'étude :

- au Nord-ouest dans les massifs des Alpilles (Bouches-du-Rhône) et de la Montagnette (Vaucluse) : la clé s'y applique correctement, ce qui permet d'incorporer ces massifs dans la zone de validité.

- Au Nord dans la vallée du Rhône, massif d'Uchaux (Vaucluse) : il faut être prudent dans l'utilisation de la clé,

notamment pour les stations situées sur les versants Nord, froides et exposées au mistral, qui sont défavorables et où la clé surestime les hauteurs.

- à l'Est dans le centre-Var : les hauteurs obtenues y sont en moyenne supérieures de 6 m à celles prédictives par la clé. Ceci est certainement dû à une pluviométrie plus importante, doublée d'une température moyenne plus élevée, ce qui allonge la saison de végétation.

- A l'Ouest dans le Languedoc-Roussillon : la clé semble relativement fiable dans la plaine à proximité de la mer, où le climat est proche de celui de la basse Provence, mais elle sous-estime généralement les hauteurs dès qu'on s'éloigne de la côte.

L'étude actuelle a posé des bases solides dans la compréhension des relations entre le pin d'Alep et son milieu. Mais il est recommandé d'être très prudent dans l'utilisation de la clé en dehors de la zone d'étude. Il vaut mieux attendre les conclusions de la prochaine étape de ce travail, qui étiendra l'étude autécologique du pin d'Alep à toute la zone méditerranéenne française (1999-2000).

## 7.- Conclusion

En Provence calcaire, la croissance en hauteur du pin d'Alep est conditionnée en premier lieu par le bilan hydrique stationnel, comme c'est le cas pour beaucoup d'essences en région méditerranéenne.

Les facteurs climatiques ne sont pas déterminants, en raison de la faible superficie et des caractéristiques du domaine d'étude, à l'exception des températures les plus fraîches défavorables à la croissance. L'altitude critique pour le pin d'Alep se situe aux environs de 600 mètres, voire un peu plus haut à la faveur de certains adrets.

La clé présentée dans ce travail a pu être étendue aux massifs des Alpilles et de la Montagnette. A cette exception près, elle n'est pas extrapolable hors du domaine d'étude.

Le pin d'Alep souffre d'un déficit de reconnaissance qui est davantage médiatique que scientifique.

Cette étude montre qu'il peut aisément tenir sa place comme essence

objectif, autant en peuplement naturel que dans les opérations de reconstitution ou de conservation forestières.

Malgré la sensibilité des peuplements de pin d'Alep au feu, il faut reconnaître que c'est la seule essence arborescente susceptible de reconstituer en peu de temps un couvert forestier dans les milieux les plus défavorables ou fortement dégradés des zones méditerranéennes françaises de basse altitude.

Sur les bonnes stations, il n'a rien à envier aux autres espèces couramment employées (cèdre de l'Atlas, chêne pubescent, chêne vert, cyprès, ...) car il présente de très bonnes croissances dès que le substrat s'améliore.

Une prise de conscience de ces dispositions par l'ensemble des intervenants de la filière bois peut ouvrir, demain, des débouchés plus valorisants et plus conformes à la véritable qualité de cet incontournable représentant de la forêt méditerranéenne.

## Bibliographie

ABBAS, H. 1983. Les forêts de Pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) dans le sud-est méditerranéen français : recherches écologiques, production sylvicole et aménagement. Dipl. Doct. Ing. en Ecologie, Univ. des Sci. Tech. St-Jérôme, 123p + 50p.

ABBAS, H. et al 1985. Les forêts de pin d'Alep dans le sud-est méditerranéen français. Forêt méditerranéenne, t. VII - 1 p. 35-42 et t. VII - 2 p. 123-130

BARBERO, M. et QUEZEL, P. 1990. La déprise rurale et ses effets sur les superficies forestières dans la région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Bull. soc. lin. Prov., 41, p 77-87.

BROCHIERO, F. 1997. Ecologie et croissance du pin d'Alep en Provence calcaire. Cemagref Aix-en-Provence, FIF ENGREF, 75p.

C.N.R.S. 1975. Cartes climatiques détaillées de la France, feuilles de la France, feuilles de Marseille, Nice et Gap.

COLOMBET, M. 1988. Ecologie des sapins méditerranéens en Provence et en Languedoc. Cemagref Aix-en-Provence, ENITEF, 85p.

- COMMERCON, R. 1988. Comportement du pin laricio en région méditerranéenne française. Cemagref Aix-en-Provence, ENITEF, 87p.
- COUHERT, B. et DUPLAT, P. 1993. Le Pin d'Alep dans la région Provence Alpes Côte d'Azur. Propositions pour une sylviculture et un modèle de production. Bull. tech. ONF, 25, p 3-22.
- D'EPENOUX, F. 1992. Relations milieu-production : application au pin noir d'Autriche dans les Alpes externes méridionales. Cemagref Aix-en-Provence, Université J. Fourier de Grenoble. Thèse doct. biologie. 226p.
- D'HANENS, G. 1997. La régénération naturelle de pin d'Alep dans les peuplements mixtes de pin d'Alep, chêne vert et chêne pubescent. Marseille, CRPF PACA. Nancy, Mastère ENGREF, 83p.
- DOUHERET, J. 1992. Pin d'Alep. Comment choisir une sylviculture ? Forêt méditerranéenne, t. XIII, 3, p 216-219.
- FORET MEDITERRANEENNE, 1993, Numéro spécial Pin d'Alep, t. XIII, 3
- LECOMTE, B. 1993. Le romanichel des bois. Les nouvelles feuilles forestières, 37, p 8-10.
- NAHAL, I. 1962. Le Pin d'Alep. Etude taxonomique, phytogéographique, écologique et sylvicole. Annales de l'école nationale des eaux et forêts, 19, (4), p 533-627.
- NEVEUX, M., DUHEN, L.M., CORTI, J.M., DEVALLOIS, P., FONTANEL, J.L., et BOISEAU, P. 1986. Plaidoyer pour une sylviculture du Pin d'Alep, par les techniciens de terrain. Forêt méditerranéenne, t. VIII, 1, p 13-18.
- NOUALS, D. et BOISSEAU, B. 1991. Le pin brutia en France continentale. Cemagref Aix-en-Provence, 86p.
- ONF, CRPF P.A.C.A. 1992. Sylviculture du Pin blanc. Le Pin blanc : une espèce provençale en plein essor. Forêt méditerranéenne, t. XIII, 3, p 204-215.
- PARDE, J. 1957. La productivité des forêts de Pin d'Alep en France. Annales de l'école nationale des eaux et forêts, t. XV, fasc. 2, p 365-414.
- QUEZEL, P. 1985. Pins du groupe *halepensis* : écologie, végétation, écophysiologie. Séminaire sur le Pin d'Alep et le pin brutia dans la sylviculture méditerranéenne, Tunis, 15-19 avril 1985. 340p.
- RIPERT, C. et NOUALS, D. 1988. Proposition de découpage interrégional en secteurs écologiques homogènes dans la zone méditerranéenne française (autécologie des essences forestières). Cemagref Aix-en-Provence, 43p.
- RIPERT, C. et BOISSEAU, B. 1993. Ecologie et croissance du cèdre de l'Atlas en Provence. Cemagref Aix-en-Provence, 81p.
- SERRE-BACHET, F. 1992. Les enseignements écologiques de la variation de l'épaisseur du cerne chez le Pin d'Alep. Forêt méditerranéenne, t. XIII, 3, p 171-176.
- STIR MEDITERRANEE. 1996. Dépilage d'une régénération naturelle de Pin d'Alep. Bulletin d'information ONF, 4, p 72-73.
- TANGHE, C. 1991. Ecologie et croissance du pin de Salzmann en France. Mémoire eNITEF, CEMAGREF Aix-en-Provence, 84 p.
- THIBAUT, B., LOUP, C., CHANSON, B. et A. DILEM, 1992. La valorisation du pin d'Alep en zone méditerranéenne française. Forêt méditerranéenne, t. XIII, 3, p 226-233.
- VENNETIER, M. et RIPERT, C. 1997. Etude des potentialités forestières de la Provence calcaire forestières Evaluation à petite échelle sur de grandes surfaces. CEMAGREF Aix-en-Provence, 34 p.

## Résumé

*Une étude autécologique du pin d'Alep a été réalisée en Provence calcaire.*

*Le domaine d'étude couvre 500 000 ha dont 95 000 ha sont occupés par les forêts à pin d'Alep. Un échantillonnage stratifié selon 4 facteurs principaux essaye de prendre en compte au maximum les variations du milieu.*

*Une modélisation de la croissance en hauteur du pin d'Alep permet d'élaborer un indice de fertilité, définissant 5 classes de productivité. Les relations entre cet indice et les facteurs du milieu naturel sont étudiées. On aboutit à une clé autécologique, outil simple d'évaluation de la productivité du pin d'Alep pour les forestiers de terrain.*

*Cette étude met en exergue les bonnes dispositions du pin d'Alep sur les stations à bilan hydrique élevé et température moyenne annuelle chaude. Elle confirme qu'il a peu de concurrents pour la croissance sur les sites arides et dégradés de la Provence. Les températures fraîches sont limitantes, ce qui explique sa disparition au dessus de 700 mètres.*

## Summary

### Autecology and the growth of the Aleppo pine on limestone in Provence

*An autecological study of the Aleppo pine was carried out in the limestone areas of Provence, southern France.*

*The extent of the area studied was 500,000 hectares, of which 95,000 are covered by Aleppo pine. A stratified sampling based on four main factors attempted as far as possible to take into account variations in environments.*

*Modeling of the growth in height of the species enabled a fertility index to be drawn up delineating five levels of productivity. The connection between this index and prevailing environmental factors was studied. As a result, an autecological key has been devised ; it is a simple tool for enabling practicing foresters to evaluate Aleppo pine productivity.*

*The study has highlighted the good behaviour of the species in habitats where there are both high annual water reserves and hot average annual temperatures. It has also confirmed that the Aleppo pine has very few rivals for growth on arid, degenerated soils in the Provence region. Cool temperatures are a limiting factor for the species, which explains why this tree is not found above 700 meters.*

la zone méditerranéenne française (autécologie des essences forestières). Cemagref Aix-en-Provence, 43p.

RIPERT, C. et BOISSEAU, B. 1993. Ecologie et croissance du cèdre de l'Atlas en Provence. Cemagref Aix-en-Provence, 81p.

SERRE-BACHET, F. 1992. Les enseignements écologiques de la variation de l'épaisseur du cerne chez le Pin d'Alep. Forêt méditerranéenne, t. XIII, 3, p 171-176.

STIR MEDITERRANEE. 1996. Dépilage d'une régénération naturelle de Pin d'Alep. Bulletin d'information ONF, 4, p 72-73.

TANGHE, C. 1991. Ecologie et croissance du pin de Salzmann en France. Mémoire eNITEF, CEMAGREF Aix-en-Provence, 84 p.

THIBAUT, B., LOUP, C., CHANSON, B. et A. DILEM, 1992. La valorisation du pin d'Alep en zone méditerranéenne française. Forêt méditerranéenne, t. XIII, 3, p 226-233.

VENNETIER, M. et RIPERT, C. 1997. Etude des potentialités forestières de la Provence calcaire forestières Evaluation à petite échelle sur de grandes surfaces. CEMAGREF Aix-en-Provence, 34 p.

## Riassunto

### Autecologia e crescenza del pino d'Aleppo in Provenza calcarea

*Uno studio autecologico del pino d'Aleppo è stato realizzato in Provenza calcarea.*

*Il campo di studio copre 500 000 ha di cui 95 000 ha sono occupati dalle foreste di pino d'Aleppo. Un campionario stratificato secondo 4 fattori principali prova di prendere in conto al massimo le variazioni dell'ambiente.*

*Una modellizzazione della crescenza in altezza del pino d'Aleppo permette di elaborare un indice di fertilità che definisce 5 classi di produttività. Le relazioni tra questo indice e i fattori dell'ambiente naturale sono studiati. Si giunge a una chiave autecologica, arnese semplice di valutazione della produttività del pino d'Aleppo per i forestali di terreno.*

*Questo studio mette in esergo le buone disposizioni del pino d'Aleppo sulle stazioni a bilancio idrico alto e a temperatura media annuale calda. Conferma che ha poco concorrenti per la crescenza sui siti aridi e degradati della Provenza. Le temperature fredde sono limitanti ciò che spiega la sua scomparsa sopra 700 metri.*