

La valorisation du pin d'Alep en zone méditerranéenne française

par *Bernard THIBAUT**, *C. LOUP***, *Bernard CHANSON**** et *A. DILEM**

Cette étude a pu être réalisée grâce à la 2^{ème} Bourse interrégionale de recherche sur la valorisation des produits de la forêt méditerranéenne animée par Forêt Méditerranéenne et financée par les Conseils régionaux de Provence Alpes Côte d'Azur et Languedoc Roussillon, l'Assemblée régionale Corse et par plusieurs mécènes: Agfa-Gevaert, la Fondation de France et Alsafel. Le texte qui suit constitue le compte rendu de ces travaux.

Introduction

Le pin d'Alep en régions méditerranéennes françaises, (surtout en Provence-Alpes-Côte d'Azur), c'est aujourd'hui :

- plus de 200 000 ha de peuplements où il est dominant
- plus de 10 millions de m³ de bois sur pied
- plus de 500 000 m³ par an de production biologique (cf.tableau 1).

C'est aussi une essence qui colonise rapidement les terres laissées à l'abandon, même les plus pauvres. Cette dynamique se traduit par l'évolution très forte de la ressource forestière constatée en 10 ans entre les deux tours successifs de l'inventaire forestier national : + 24% pour les surfaces, + 39% pour les volumes sur pied et + 65% pour les accroissements. Non seulement les surfaces s'accroissent mais les peuplements deviennent plus consistants. Depuis quelques années

des forestiers (Neveux et al) ont eu le courage de développer "un plaidoyer pour le pin d'Alep", essence jusque là maudite, par qui le feu arrive. Ils montrent qu'une sylviculture dynamique du pin d'Alep, reste bon marché, et permet de répondre aux trois fonctions principales d'une forêt méditerranéenne : assurer la protection des sols en n'étant pas spécialement sensible aux incendies, assurer une fonction paysagère importante dans ces régions touristiques, et assurer une bonne production de bois.

Une des conditions d'un développement d'une telle sylviculture dans la forêt privée, est la possibilité de commercialiser les produits. En effet, dans une forêt résineuse française normale, plus de 60% de la production biologique est récoltée et les 2/3 de cette

récolte servent d'abord à l'industrie du bois-matériau (les sous produits de cette industrie allant à la trituration). Si le pin d'Alep bénéficiait d'un traitement de ce type, la récolte devrait atteindre 300 000 m³ dont 200 000 m³ pour le bois d'œuvre. En réalité, la récolte totale ne dépasse guère 50 000 m³ destinés en grande majorité à la papeterie.

Lorsqu'il s'agit de valoriser une ressource forestière, trois critères principaux doivent être pris en compte :

1 - les qualités physiques et mécaniques intrinsèques du bois,

2 - les qualités morphologiques des arbres (rectitude, forme, branchaison) qui conditionnent la qualité des produits en bois,

3 - l'abondance et le coût de la ressource rendue en usine.

	Surface (ha)	Volume (m ³)	Volume/ha (m ³ /ha)	Accroissement (m ³ /an)	Acc '/ha/an (m ³ /ha/an)
Total France	236 000	10 900 000	46,2	515 000	2,2
Total Provence	202 000	9 500 000	47,0	450 000	2,2
Provence Récoltable	56 000	4 400 000	78,6	215 000	3,8

Tableau 1 : Ressource totale et ressource exploitabile en France et en Provence

*Laboratoire de mécanique et génie civil, U.R.A. 1214 du C.N.R.S.

** Laboratoire de botanique, U.R.A.327 du C.N.R.S., Université Montpellier II CP81 - Place Eugène Bataillon 34095 Montpellier cedex 5

***Laboratoire de rhéologie du bois de Bordeaux, UMR 123 du CNRS

1.- Propriétés intrinsèques du bois

Ces propriétés physico-chimiques, mécaniques et technologiques sont mesurées en laboratoire ou estimées sur site industriel, utilisant dans le premier cas des normes qui peuvent varier d'un pays à l'autre (AFNOR en France, DIN en Allemagne, par exemple). Cela permet de mesurer les aptitudes de tel ou tel bois et de le classer dans une grande catégorie d'emplois.

1.1.- Propriétés standards

Il est toujours commode de se référer à une essence de référence très largement utilisée comme

- le sapin ou l'épicéa pour la charpente
- l'okoumé pour les bois de déroulage
- le sipo pour les menuiseries industrielles
- le chêne pour le tranchage ou l'ébénisterie, etc...

Dans le cas du pin d'Alep la référence la plus naturelle est le pin des Landes (pin maritime) dont la multiplicité des usages est bien connue (contreplaqué, lambris, petite charpente, palette, coffrage, menuiserie intérieure ...).

Le tableau 2 résume la comparaison pin d'Alep - pin maritime pour les principales propriétés intrinsèques du bois. Il est le résultat de la compilation de tous les travaux accessibles dans la bibliographie sur les deux espèces dans de nombreux pays du pourtour méditerranéen (France, Italie, Espagne, Portugal, Tunisie, Maroc, Israël) et de nos propres mesures.

Il faut ajouter que dans tous les essais cités, les deux espèces présentent une très forte variabilité des propriétés d'un échantillon à l'autre, liée notamment à la vitesse de croissance (les arbres à croissance rapide ont des densités plus faibles dans les deux cas).

Le résultat le plus remarquable est la très grande similitude de toutes les propriétés de base des deux pins considérés. Tous deux sont des résineux mi lourds à lourds, à retrait moyen et pourcentage moyen de résine relativement élevé. Cette simi-

litude existe aussi pour les fourchettes de variations des propriétés quelles que soient les régions d'étude.

Tout au plus peut-on constater que le pin d'Alep a des retraits et une résistance mécanique transverse légèrement plus faible et une résistance mécanique en long légèrement plus forte que le pin maritime. Les résultats de Polge (1973) corroborés par les nôtres montrent que l'hétérogénéité du pin d'Alep est aussi légèrement plus faible ce qui est plutôt favorable pour les usinages.

Cette similitude des propriétés intrinsèques est confirmée par l'opinion des différents industriels rencontrés, qui ont fait l'expérience d'utiliser du pin d'Alep :

- Scierie et fabrique de menuiseries et de meubles Paul Ricard

- Paul Laure scieur à Gonfaron (Var)

- Essais de sciage et d'utilisations diverses réalisés par Eric Belvaux dans la Drôme et le Vaucluse (cf. p. 257)

- Essais de fabrication de lamellé collé réalisés à la demande du C.I.C.B.L.

- Essais de déroulage et de fabrication de contreplaqué réalisés par le groupe ROL

- etc ...

1.2.- Résine

Bien qu'il s'agisse d'un handicap important pour de nombreux usages comme bois d'œuvre, la mesure et l'analyse du taux de résine sont rarement effectuées. Une série de mesures selon la norme classique par l'extrac-tion dans un mélange 50/50 d'Alcool-Benzène a été effectuée sur 16 arbres à raison de 3 carottes par niveau, pour 5 niveaux de hauteur par arbre. Chaque carotte a été divisée en 4 parties égales

PIN D'ALEP / PIN MARITIME			
Moyennes des propriétés intrinsèques du bois			
	P.A.	P.M.	PA/PM
D (12%)	.575	.564	1.02
R radial (%)	4.55	4.94	.92
R tang. (%)	7.40	7.72	.96
R Volum. (%)	11.85	13.60	.87
Rupt. comp. (Kg/cm ²)	473	469	1.01
Rupt. flex. (Kg/cm ²)	0.043	997	1.05
E flexion (Kg/mm ²)	1145	1139	1.01
Résilience (Kg. m)	1.77	1.40	1.26
Rupt. cis. (Kg/cm ²)	79.2	87.5	.91
Tract. perp. (kg/cm ²)	24.6	25.8	.95
Dureté (Monnin)	2.86	3.10	.90
% résine	4.51	4.50	1.00

Tab. 2 : Comparaison des propriétés intrinsèques moyennes des bois de pin d'Alep et de pin maritime

numérotées 1 à 4 du cœur de l'arbre vers l'écorce soit 960 mesures du taux moyen de résine. Les principaux résultats sont représentés sur les fig. 1 et 2.

En moyenne générale le taux de résine s'élève à 4,51% ce qui est quasiment identique à la valeur 4,50% trouvée dans des conditions similaires pour des pins maritimes adultes par Keller (1973). Le taux de résine et sa répartition n'évoluent pas de manière significative avec la hauteur du prélèvement.

Le résultat le plus remarquable concerne la variation radiale de la teneur en résine : dès que l'on dépasse la moitié du rayon, la teneur en résine du bois situé vers l'écorce reste toujours inférieure à 5% avec cette fois un taux de résine moyen de 1,8% comparable à celui des bois faiblement résineux comme l'épicéa.

Par contre dans le quart le plus à cœur, le taux moyen de résine dépasse 10% (10,9%) avec des pointes voisines de 30%. Ce résultat est tout à fait comparable à ce qui avait été observé sur le pin maritime par Keller (1973) qui trouvait un taux moyen de résine de 12% pour des jeunes arbres de 6 ans. Cela prouverait par ailleurs que la production normale de résine dans le bois de ces pins ne résulte pas du processus de duraminisation. Hatwig (1973) avait également noté que pour le pin maritime le taux de résine était très élevé vers le cœur (jusqu'à 28%) puis se stabilisait à une valeur assez faible à partir de 10 ans environ.

Le pin d'Alep et le pin maritime se révèlent donc à nouveau étonnamment semblables en ce qui concerne les taux de résine et la répartition de celle-ci. Ces résultats importants pourraient être mis à profit dans les modes de débit. En effet on peut estimer que la partie intérieure très résineuse représente 2/5 du diamètre soit 16% du volume du billet. Des techniques telles que le déroulage, ou le sciage en périphérie avec un dispositif de rotation par quart de tour (du même type que celui qui est utilisé par les australiens pour l'eucalyptus) permettraient d'obtenir à coup sûr des produits à faible taux de résine, le cœur étant alors utilisé pour des usages spécifiques (extraction éventuelle de la résine, utilisation comme combustible ...).

Infradensité moyenne selon la position radiale et la hauteur dans l'arbre

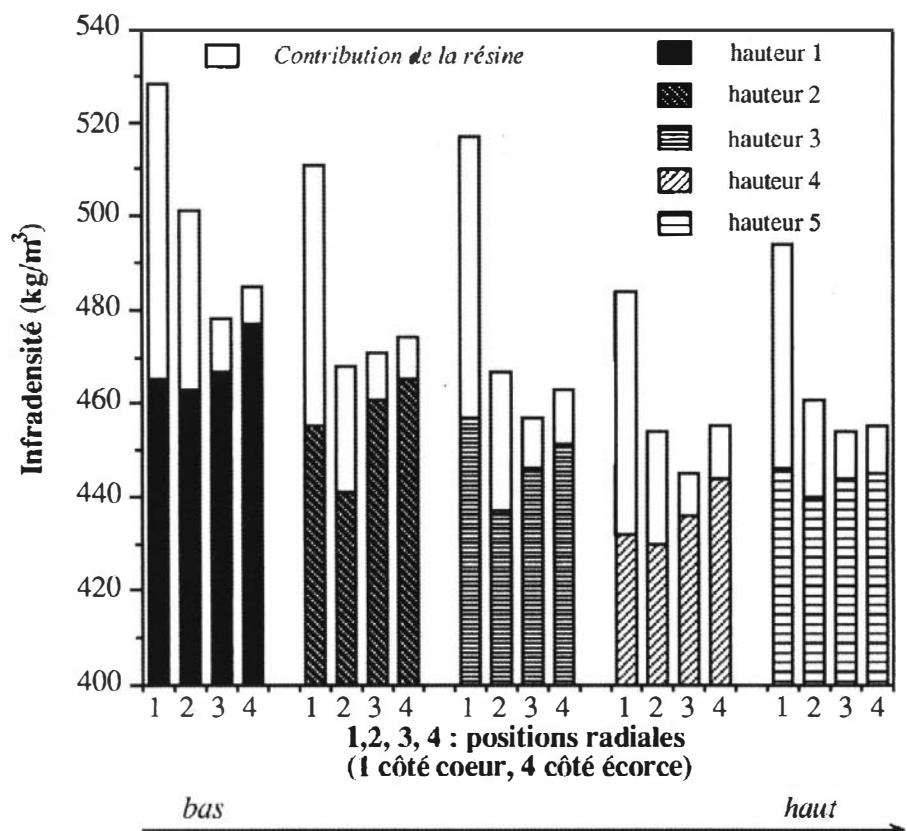


Fig.1 : Evolution de l'infradensité moyenne du bois de pin d'Alep en fonction de la hauteur dans l'arbre et de la distance au cœur.

2.- Qualités morphologiques des arbres

2.1.- Développement architectural branchaison

Par l'analyse architecturale il est possible de comprendre comment se construisent les arbres. Chaque espèce possède son propre programme de développement que l'on peut décrire à l'aide des modèles architecturaux et grâce à la notion d'unité architecturale. Les conditions environnementales interfèrent sur le développement architectural des individus, en accélérant ou en retardant les différentes phases de croissance, mais ne les modifient en aucun cas.

Le développement du pin d'Alep repose sur des mécanismes de croissance semblables à ceux d'autres pins déjà étudiés notamment le pin sylvestre (Edelin, 1977) et le pin

maritime (Loup, 1990). Sa croissance est, comme tous les pins déjà décrits, conforme au modèle de Rauh (Halle et Oldman, 1970). Ce modèle est caractérisé par des axes ayant tous une croissance monopodiale (élaborés par le même bourgeon terminal), un développement orthotrope (vertical), une ramifications rythmique (les axes latéraux sont regroupés dans une même zone, alternant avec des portions d'axes sans rameaux) et la floraison est latérale.

L'arbre ayant atteint le stade du diagramme architectural complet présente cinq ordres de ramifications (A1 à A5). A ce stade la floraison est déjà bien présente. Les inflorescences femelles se situent sur les A1, A2, A3, en fin de pousse, les cônes mâles sur les A3, A4 et A5 en

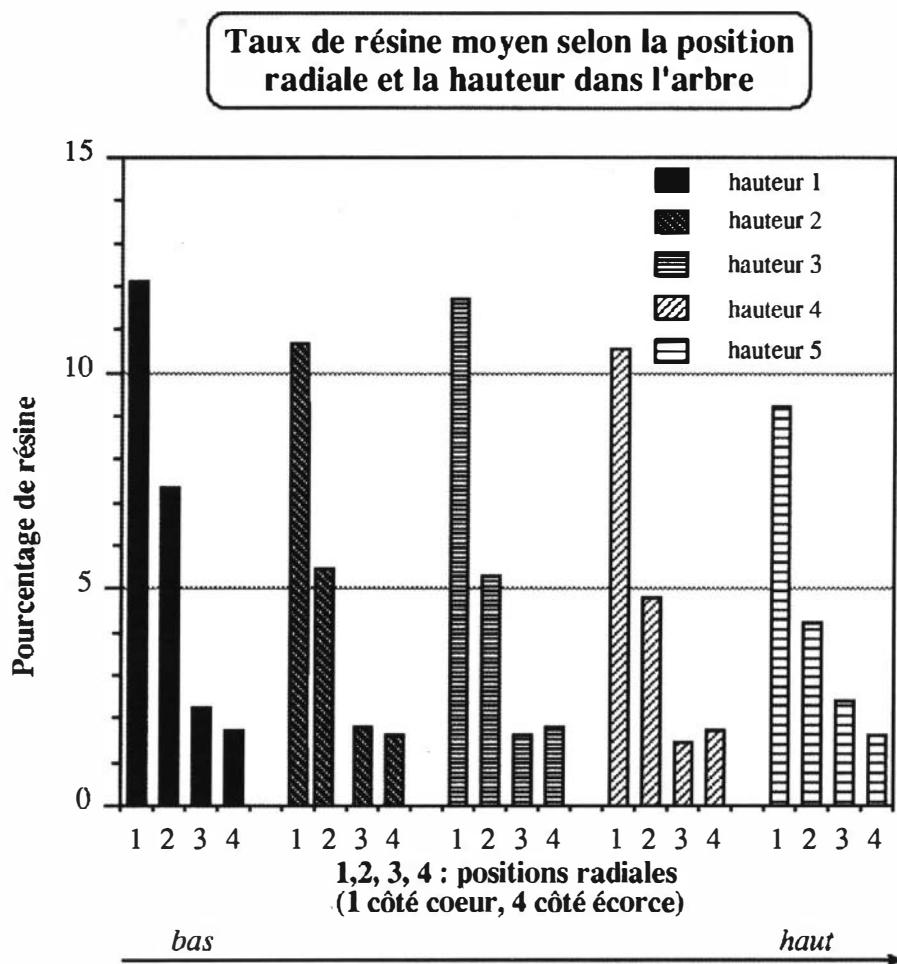


Fig.2 : Evolution du taux de résine moyen en fonction de la hauteur dans l'arbre et de la distance au coeur.

début de poussée¹ (fig. 3, page suivante).

La cime du pin d'Alep est donc constituée par ces cinq catégories d'axes. La durée de vie des différentes catégories est variable, l'apparition de la floraison mâle marquant les pré-mâles de la mort du méristème terminal correspondant. Les branches dont le bourgeon terminal est mort s'élaguent peu à peu. L'A1 dure toute la vie de l'arbre (80 ans), les A2 vivent en moyenne 20 ans, les A3 : 15 ans, les A4 : 8 ans et les A5 : 5 ans.

Par la suite, l'élaboration de la cime va se poursuivre par répétition de l'unité architecturale. Ce processus est connu en architecture végétale sous le terme de réitération (Oldman, 1974).

La réitération peut également être observée dans le cas où, par accident,

1 - N.B. Le phénomène de polycliomie s'observe aussi chez le pin d'Alep mais nous n'entrerons pas dans le détail.

chez les deux espèces. Pour chacune d'elles, la "finesse" des branches principales (axes A2) et la rapidité de leur élagage naturel après la mortalité des bourgeons terminaux vont dépendre essentiellement de facteurs génétiques (amélioration) et sylvicoles (densité de peuplement, peuplement de sous étage ...).

En effet le développement et donc la grosseur des branches basses dépend essentiellement de l'espace (accès à la lumière) disponible. La création des pinèdes actuelles par envahissement progressif de terrains abandonnés favorise nettement la présence d'arbres à fortes ramifications ce qui se traduit immanquablement par des troncs très noueux et des sciages de qualité médiocre quelle que soit la qualité intrinsèque du bois.

2.2.- Bois de compression

Il s'agit d'un bois de nature particulière, beaucoup plus riche en lignine, avec un angle des microfibres dans la paroi cellulaire plus élevé. Cela se traduit par une densité moyenne plus élevée, un retrait longitudinal beaucoup plus fort (il peut dépasser 1cm/m) et une résistance mécanique 2 ou 3 fois plus faible. Des zones importantes de bois de ce type peuvent exister sur la partie inférieure des troncs penchés mais aussi sur de vastes secteurs de troncs relativement droits pour des arbres dont le houppier est déséquilibré, ou qui ont dû réagir à un moment de leur existence à la mortalité du bourgeon terminal (Chanson et al, 1990). En général un excentrement important de la moelle s'accompagne d'une proportion importante de bois de compression du côté du plus grand rayon. Ceci est particulièrement fréquent pour le pin maritime avec des conséquences très néfastes aussi bien pour les sciages que pour le contreplaqué (Baillères 1990).

Une estimation du pourcentage de bois de compression présent dans les 960 portions de carottes déjà citées a été faite en utilisant un critère de densité mis au point par la Station de Recherches sur la Qualité des Bois (Nepveu). Les 16 arbres concernés contiennent environ 15% de bois de compression avec une présence légèrement plus importante vers le cœur.

Des mesures complémentaires sur un plus grand nombre d'arbres seraient nécessaires pour mieux qualifier une ressource donnée.

Par ailleurs, l'impression visuelle des piles de billons en scierie (Scierie Laure à Gonfaron) par comparaison aux livraisons acceptées par l'usine de déroulage de Labouheyre (groupe ROL) dans les Landes, laisserait penser que le pin d'Alep a moins souvent le cœur fortement excentré que le pin maritime, alors que les troncs sont souvent inclinés.

Une première expérimentation a été effectuée sur des jeunes arbres inclinés artificiellement. Les jeunes pins maritimes se sont redressés plus vigoureusement en fabriquant nettement plus de bois de compression, ce qui expliquerait peut-être pourquoi le pin d'Alep accepte plus volontiers de pousser très incliné sans pour autant produire en abondance le bois de compression si fréquent chez le pin maritime. Cela demande à être confirmé à la fois par d'autres expérimentations sur des jeunes arbres et par des observations sur chantier et en scierie d'arbres plus ou moins inclinés ou déséquilibrés.

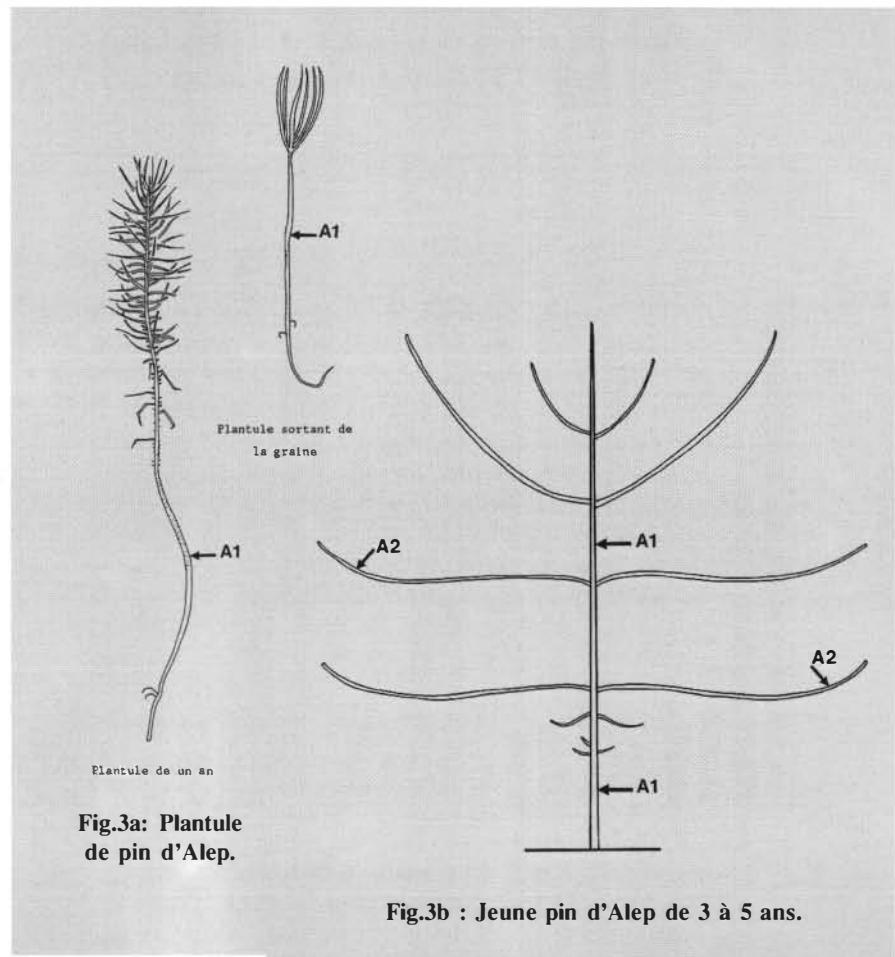


Fig.3a: Plantule de pin d'Alep.

Fig.3b : Jeune pin d'Alep de 3 à 5 ans.

3.- La ressource pin d'Alep de la forêt provençale

3.1.- La ressource totale

En France la ressource en pin d'Alep est entièrement localisée sur la façade méditerranéenne. Le tableau 1 et la figure 4 (page suivante) récapitulent les données du 2ème tour de l'Inventaire forestier national.

Trois départements se détachent nettement : Les Bouches du Rhône, le Var et le Vaucluse. Ils représentent à eux seuls :

- 76% de la surface
- 76% du volume
- 76% de l'accroissement.

Ces chiffres correspondent à l'ensemble des peuplements où le pin d'Alep est présent, quel que soit le type ou la structure du peuplement défini par l'inventaire. Certains types de peuplements, bien que représentant des surfaces ou des volumes non négligeables de pin d'Alep, ne peuvent être retenus dans une estimation sérieuse de la ressource exploitable.

3.2.- Estimation quantitative de la ressource exploitable

L'analyse par types de peuplement montre que les types marginaux représentent environ 25% de la ressource. La situation du pin d'Alep dans ces peuplements est liée à son caractère d'espèce pionnière. Ces peuplements marginaux où le pin d'Alep s'installe de lui même correspondent souvent à des zones de

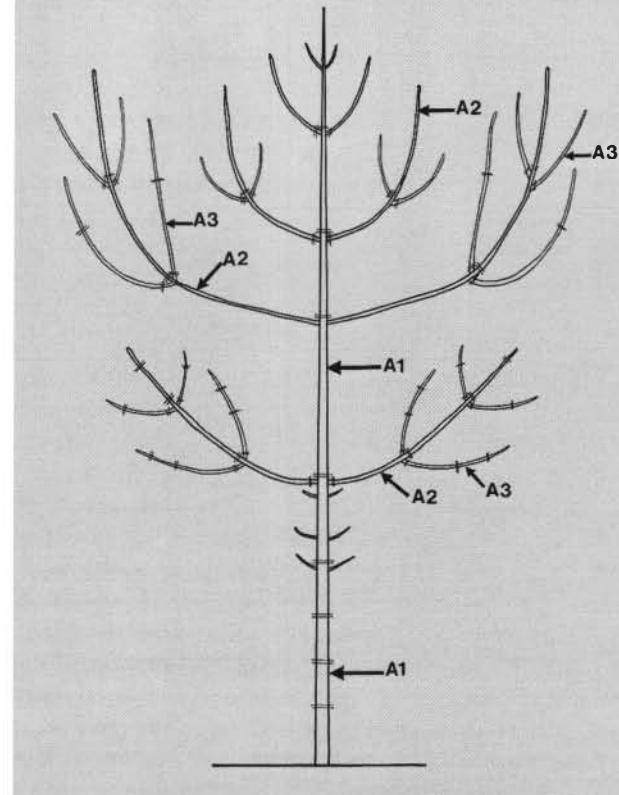


Fig.3c : Jeune pin d'Alep de 10 ans environ.

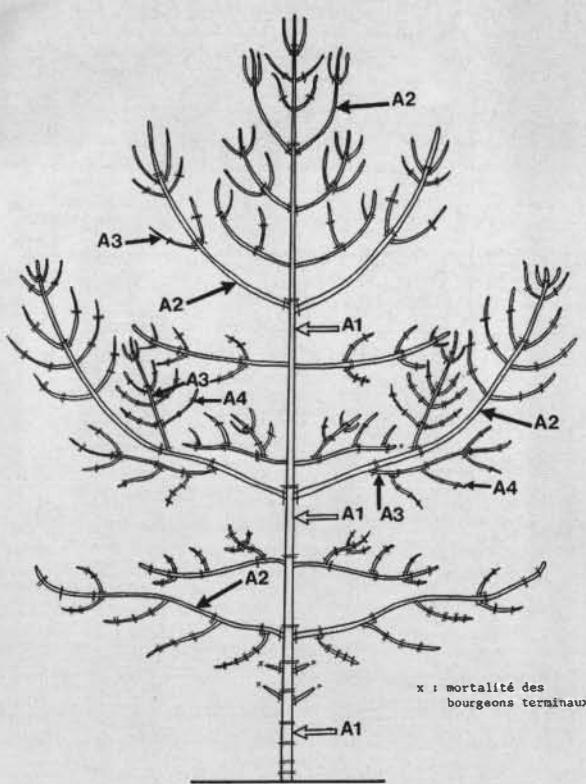


Fig.3d : Jeune arbre de 15 ans environ.

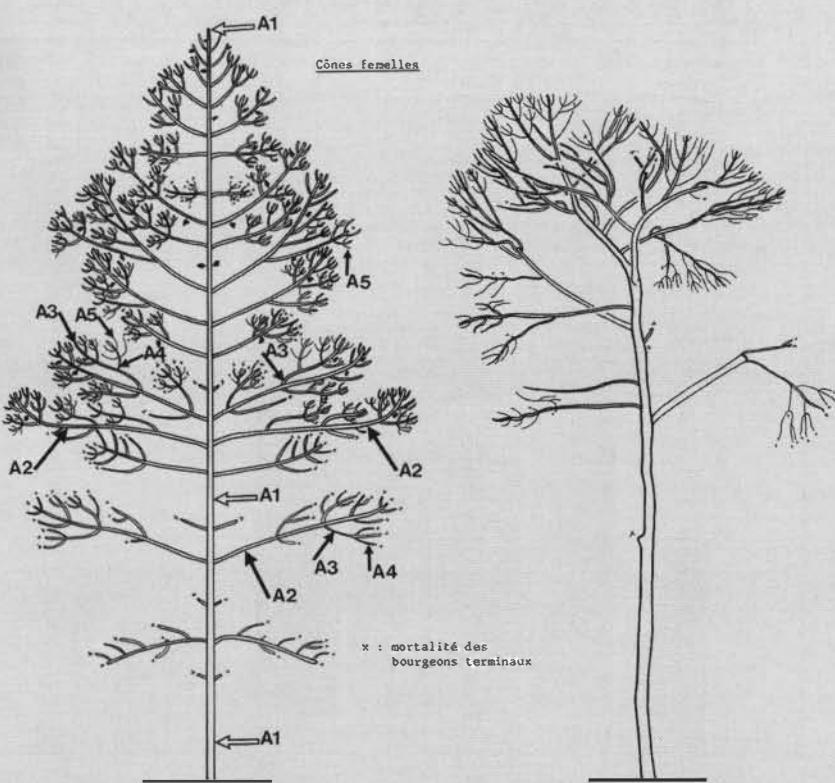


Fig.3e : Pin d'Alep adulte: diagramme architectural complet.

Fig. 3f : Pin d'Alep vieillissant.

déprise agricole. Une action sylvicole en faveur de celui-ci sur ce type de station peut à terme conduire à une forte extension du pin d'Alep, à condition qu'il soit possible d'obtenir des bois de bonne qualité.

Toutefois, parmi ces peuplements, n'ont été retenus que ceux qui forment des peuplements denses, à structure forestière régulière où le pin d'Alep a un couvert relatif supérieur à 75%.

Enfin dans ces peuplements, toutes les stations ne présentent pas de bons critères d'exploitabilité. Nous avons pris comme critère de tri des peuplements sur des pentes inférieures à 30% avec une distance maximum de débardage de 1000 m sans création de nouvelles infrastructures.

Le prise en compte simultanément de tous ces critères de tri nous a permis d'avoir une estimation des surfaces et volumes exploitables dans des conditions forestières et économiques, a priori, favorables.

Cette étude détaillée a été réalisée sur les trois principaux départements (fig.5, page suivante).

En extrapolant ces résultats aux départements limitrophes (Alpes maritimes et Alpes de Haute Provence) où les peuplements de pin d'Alep font souvent partie des mêmes massifs forestiers, on obtient globalement une ressource de 4,4 millions de m³ sur pied avec un accroissement annuel de 215 000 m³ sur une surface de 56 000 ha (tableau 1).

La distribution des surfaces et volumes par classe d'âge montre par ailleurs que cette forêt de pin d'Alep est encore jeune mais qu'un volume important d'arbres de plus de 60 ans devrait être récolté rapidement (fig. 6, page suivante).

Conclusion

L'ensemble des travaux effectués et recensés conduisent à la même remarque : le pin d'Alep est intrinsèquement très proche du pin maritime et toute l'expérience acquise sur le pin des Landes sur le plan sylvicole mais plus encore sur le plan des technologies de transformation, doit pouvoir se transférer facilement vers le pin d'Alep. Rien ne devrait s'opposer aujourd'hui à une bonne valorisation des arbres bien conformés et il existe de beaux peuplements.

Pin d'Alep: Surface, volume et accroissement par département en % du total France

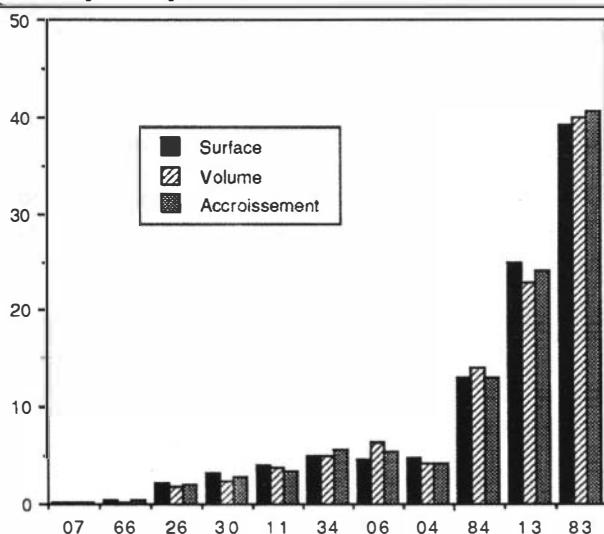


Fig.4 : Ressource en pin d'Alep, répartition par départements.

L'analyse plus fine de la distribution de la résine dans l'arbre montre qu'il y aurait sans doute intérêt à utiliser des techniques de débit "périphériques" pour obtenir le maximum de pièces à faible teneur en résine.

La deuxième conclusion importante à retirer de l'analyse du développement morphologique des pins et notamment du pin d'Alep est la sensibilité très forte de ces espèces aux contraintes du milieu et donc à l'action sylvicole.

Que ce soit pour la rectitude et par là le taux de bois de compression, ou la branchaison, l'installation pionnière et le manque de sylviculture favorisent énormément les adaptations négatives quant à la qualité des produits qui pourraient être tirés de ces arbres.

Là, il faut bien reconnaître que le pin de Provence a un sérieux handicap face au pin des Landes.

L'analyse quantitative de la ressource actuelle et de son évolution montre une nette progression du pin d'Alep, surtout sensible en consistance et en productivité des peuplements. Les peuplements qui atteignent le seuil raisonnable de rentabilité économique représentent aujourd'hui des surfaces et des volumes non négligeables.

Bien sûr dans un rayon d'approvisionnement équivalent la Forêt Landaise productive représente 15 fois plus en surface et au moins 30 fois plus en volume et en accroissement (avec des volumes à l'hectare au moins deux fois plus élevés).

Cela ne signifie pas qu'il n'y a aucun espoir pour le pin d'Alep, mais plutôt

Surface, volume et accroissement après tri, en % du total

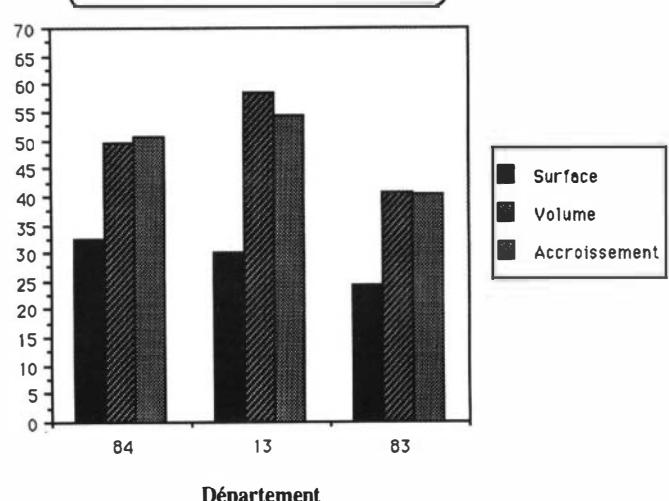


Fig.5 : Conséquences du tri sur les surfaces, volume et accroissements.

qu'il faut absolument une très forte cohérence dans les politiques de constitution de lots commercialisables pour les scieries ou les industries de déroulage (cagettes par exemple) qui doivent elles mêmes bien choisir leur créneau.

Plus la ressource sera abondante (et elle augmente rapidement) plus les opportunités de valorisation du pin d'Alep seront rentables. Une politique d'adaptation et de vulgarisation auprès des industriels locaux du savoir faire

Surface et Volume par classe d'âge en % du total exploitable en Provence

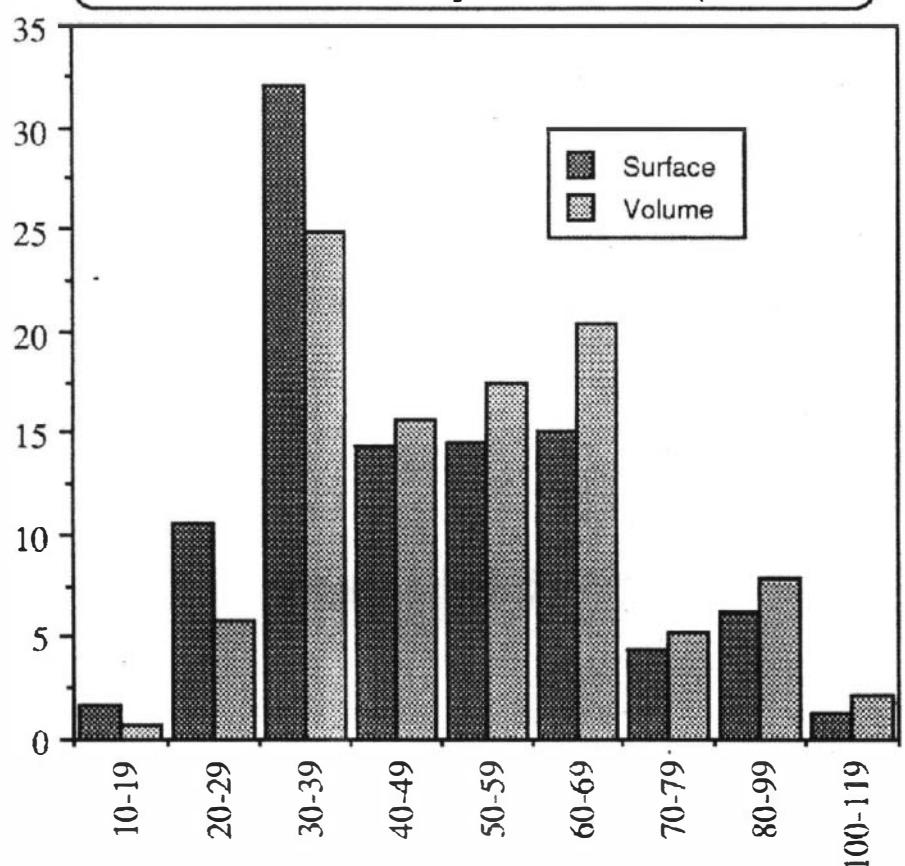


Fig. 6 : Répartition de la ressource exploitable par âge.



Photo 1 : Métamorphose sur pin maritime.



Photo B.T.

Photo 2 : Métamorphose sur pin d'Alep.

Photo B.T.

des industriels landais serait à coup sûr un bon investissement pour l'avenir, et une manifestation concrète d'une coopération interrégionale "Grand Sud".

Il nous paraît évident que le pin d'Alep a d'abord besoin d'une sylviculture dynamique pour améliorer la forme des arbres et leur branchaison. Cela ne pourra que conforter dans l'avenir les industries qui s'installeraient aujourd'hui pour valoriser la ressource existante.

**B.T., C.L.,
B.C., A.D.**

Bibliographie

HARTWIG G.L.F., 1973, Radial Specific gravity moisture content, equilibrium moisture content and shrinkage/swelling in *Pinus pinaster* and *Pinus Radiata*. IUFRO All division 5 Meeting, Cape Town.

POLGE H., KELLER R., 1970, Rapport de mission de consultants en Tunisie. Document interne INRA.

DAHMANE M., 1986, Les produits du pin d'Alep en Tunisie. Options 86/1, CIHEAM.

CTBA, 1986, Les résineux français. CTB, 1970, Le pin maritime, Fiches de documentation sur les principales essences des pays tempérés.

QUIQUANDON B., 1966, Etude des bois de pin d'Alep en Tunisie. Document CTB.

TISCHLER K., 1971, Les propriétés physiques et mécaniques du bois de pin d'Alep. Institut Volcani de Recherches Agronomiques. Israël.

EL ABID A., 1981, Aptitudes technico-économiques du pin d'Alep et du pin maritime issus de reboisements marocains à produire du bois de mine, Annales de Recherches Forestières au Maroc.

CICBL, 1987, Les résineux en Provence-Alpes-Côte d'Azur.

POLGE H., 1966, Etablissement des courbes de variation de la densité du bois par exploration densitométrique de radiographies d'échantillons prélevés à la tarière sur des arbres vivants. Application dans les domaines technologiques et physiologiques. Thèse d'Etat, Université de Nancy.

OLIVA A.G., PULGAR F.P., 1967, Características fisico mecánicas de las maderas españolas, Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias, Madrid.

TAKAHASHI A., TANAKA C., SHIOTA Y., 1983, Compilation of data on the Mechanical Properties of Foreign Woods. Part IV European Woods. Research Report of foreign wood, n°11, Shimane University, Mastsue, Japan.

KELLER R. 1973, Caractéristiques du bois de pin maritime, variabilité et transmission héréditaire. Annales des Sciences Forestières, 30(1).

EDELIN C., 1977, Images de l'architecture des conifères. Thèse de 3ème cycle, Université de Montpellier.

LOUP C., 1990, Le développement architectural du pin maritime. Architecture, Structure et Mécanique de l'Arbre, 2ème Séminaire, Montpellier.

HALLE F., OLDEMAN R.A., 1970, Essai sur l'architecture et la dynamique de croissance des arbres tropicaux. Masson, Paris.

LOUP C., FOURNIER M., CHANSON B., 1991, Relations entre Architecture, Mécanique et Anatomie de l'arbre. Cas d'un pin maritime (*Pinus pinaster* Soland.). L'arbre, Biologie et Développement. Naturalia Monpeliensis n° hs 1991, 181-195.

BAILLERES H., 1991, Conséquences du bois juvénile et du bois de compression sur la stabilité dimensionnelle des contreplaqués de pin maritime. Architecture, Structure et Mécanique de l'Arbre, 3ème Séminaire, Montpellier.

LOUP C., FOURNIER M., CHANSON B., MOULIA B., 1991, Redressements, contraintes de croissance et bois de réaction dans le bois d'un jeune *Pinus pinaster* artificiellement incliné. Architecture, Structure et Mécanique de l'Arbre, 3ème Séminaire, Montpellier.