

FRANCE FORÊT
Provence-Alpes-Côte d'Azur



La valorisation bois d'œuvre du Pin d'Alep, source d'économie et d'emploi pour la forêt méditerranéenne



Valoriser le pin d'Alep Synthèse documentaire

Juin 2015

FRANCE FORET Provence-Alpes-Côte d'Azur

Pavillon du Roy René, CD 7 Valabre, 13120 Gardanne
Tél. 04 42 65 43 93 - Fax 04 42 51 03 88 - franceforetpaca@ofme.org - www.ofme.org

Valoriser le pin d'Alep, synthèse documentaire ; Alcina – France Forêt PACA ; 2015

Rédigé par : Olivier Chandioux

Corrigé par : Sébastien Diette, Nicolas Hatchiguan, Denis Revalor

Version définitive

Introduction

Essence pionnière du littoral méditerranéen, le pin d'Alep représente le peuplement principal de la plupart des forêts récentes nées de la recolonisation de terres agricoles ou de sites incendiés.

Emblématique des collines provençales, il porte avec lui l'image de paysages écrasés de soleil dont la seule évocation renvoie à la carte postale d'une silhouette torturée par le mistral, dans le bruit assourdissant des cigales.

Mais le pin d'Alep, c'est aussi le bois de mine qui étayait les galeries des nombreux puits des bassins houillers de la région. C'est aussi le bois d'œuvre des constructions traditionnelles; c'est encore avec ses petits bois, le combustible de nos aïeux; c'est enfin la ressource indispensable à la chimie de la colophane, comme à toutes les autres applications issues du gemmage.

Aujourd'hui, l'industrialisation et le renouveau des énergies ont fait largement baisser l'utilisation de cette essence de bois.

De plus, les règles de construction imposent de pouvoir calculer les éléments de structure, et l'obligation d'assurance des constructeurs leur impose le recours à des produits normés. À défaut, la réglementation vient éloigner encore toute volonté de faire appel à ce matériau dans la construction.

Plusieurs éléments de contexte actuels sont favorables à une utilisation du pin d'Alep en bois d'œuvre :

- contexte social : l'engouement pour les produits naturels et locaux,
- contexte économique : le renchérissement des transports, la valorisation des sous-produits en bois-énergie,
- contexte environnemental : le souci écoresponsable de diminuer la signature carbone de la construction et des produits transportés, ainsi que le développement des forêts.

Tout ceci est de nature à atténuer, voire compenser les handicaps du pin d'Alep, qui ont conduit au recul de ces usages traditionnels.

De nombreuses études ont été menées en Provence-Alpes-Côte d'Azur depuis les dix dernières années sur le pin d'Alep. Cependant, aucune étude ne porte sur l'aval et une seule traite de la caractérisation technologique comparative à d'autres essences, sur un champ très limité.

Ces études ne sont pas forcément reliées entre elles. Si certaines ont été portées à la connaissance de l'ensemble de la filière, peu d'acteurs en connaissent les conclusions principales et encore moins le contenu précis.

Il s'agit, dans la première phase d'une étude-action destinée à créer une dynamique de valorisation du pin d'Alep impliquant l'ensemble des acteurs au niveau régional et de qualifier (normaliser) son bois pour de futurs usages en structure, de recueillir, analyser et synthétiser :

- l'ensemble des études conduites sous l'égide du groupe informel pin d'Alep ;
- les études produites par d'autres organismes de recherche et développement ayant travaillé sur le pin d'Alep (Universités, CIRAD, INRA, CEMAGREF, FCBA, Association AB&C, ...).

Le présent document est constitué de fiches de synthèse documentaire, de deux niveaux (synthèse technique, fiche simplifiée) basées sur cette étude documentaire.

Étude documentaire

L'étude documentaire réalisée a permis de regrouper 144 documents rédigés autour des quatre axes poursuivis par le groupe régional « pin d'Alep » : 1/ le renouvellement des peuplements, 2/ la définition d'itinéraires sylvicoles, 3/ la gestion par massif, 4/ les propriétés technologiques.

Ces axes ont constitué un guide permettant de cibler la documentation et de la limiter aux problématiques strictement liées à la gestion des forêts de pin d'Alep et à la valorisation de son bois. Ainsi l'étude documentaire ciblée ne constitue pas une monographie relative au pin d'Alep mais une sélection opérationnelle des connaissances publiées autour des domaines utiles à la valorisation du pin d'Alep comme essence productrice de bois d'œuvre.

Nous avons intégré à cette étude des documents issus de l'ensemble du bassin méditerranéen de manière à offrir une vision croisée avec les études réalisées en France (et particulièrement en PACA).

Chaque document a conduit à la rédaction d'une fiche de lecture. Ces fiches de lectures font l'objet d'un document séparé : *La valorisation bois d'œuvre du Pin d'Alep, source d'économie et d'emploi pour la forêt méditerranéenne ; Fiches de lectures de la synthèse documentaire ; Alcina – France Forêt PACA ; 2015*

Chaque document a également été indexé sur une base de données documentaire accessible en ligne.

www.zotero.org/pindalep/items

Dans cette base de données documentaire, chaque document est :

- défini par ses références (titre, auteur, type de document, date de publication, ...),
- accessible par un lien pointant sur sa version pdf téléchargeable ou sur une page donnant accès à un téléchargement (payant quand le document est privé),
- caractérisé par un certain nombre de descripteurs. Nommés « tags » dans Zotero, la sélection de ces descripteurs (ou leur recherche dans « Filter Tags ») permet de sélectionner l'ensemble des documents dans lesquels l'un des concepts référencés est développé.

Ces « descripteurs » font référence à un thesaurus, développé pour la présente étude et comprenant 121 descripteurs. Ils ont permis d'assurer des liens entre les 144 documents recensés et d'enrichir la synthèse bibliographique par le croisement de sources différentes abordant les mêmes concepts par des approches différentes, ou se renforçant les unes les autres.

Cette méthodologie a permis de rapprocher des documents qui ne l'étaient pas jusqu'alors et de faire ressortir des informations originales sur le pin d'Alep, qui existaient préalablement, que le croisement des informations et l'attention portée à la valorisation du bois ont permis de mettre en lumière de manière claire.

La synthèse issue de cette analyse est présentée dans les pages suivantes, sur la base de 13 domaines étant apparus, au cours du travail bibliographique, comme saillants et pouvant donner lieu à des recoupements entre études équivalents en terme de volume d'information et d'intérêt pour le lecteur intéressé à la valorisation du pin d'Alep.

Cette synthèse est présentée sous deux formes :

- 13 fiches techniques de deux à quatre pages comprenant un condensé de l'information relative au domaine abordé, des informations synthétiques mais complètes, des illustrations et une sélection de références essentielles, destinées à un public averti,
- 13 fiches de synthèse d'une page, utilisables pour des présentations, pour une diffusion large et mettant en lumière les informations croisées entre domaines.

Table des matières

**Des pathogènes peu virulents
mais menaçant la qualité du bois**

fiche documentaire
fiche de synthèse

**Et si, d'une génération à l'autre,
on améliorerait les qualités du pin ?**

fiche documentaire
fiche de synthèse

**Un bois qui n'a plus à
faire ses preuves**

fiche documentaire
fiche de synthèse

**Des millions de m³ de
bois d'œuvre**

fiche documentaire
fiche de synthèse

**Pour récolter du bois
de qualité, il faut
l'avoir cultivé**

fiche documentaire
fiche de synthèse

**Est-il durable de ne
pas renouveler une
ressource en bois ?**

fiche documentaire
fiche de synthèse

**Bois d'œuvre depuis
3000 ans cherche
emploi sérieux**

fiche documentaire
fiche de synthèse

**Pour bien valoriser, il
faut bien trier**

fiche documentaire
fiche de synthèse

**Redonner de la valeur
au bois pour investir
dans la forêt**

fiche documentaire
fiche de synthèse

**L'essence la plus
adaptée aux
conditions
méditerranéennes**

fiche documentaire
fiche de synthèse

Impacts sur le milieu

fiche documentaire
fiche de synthèse

**Un pin à surveiller comme le lait
sur le feu**

fiche documentaire
fiche de synthèse

**D'étonnantes capacités de
cicatrisation**

fiche documentaire
fiche de synthèse

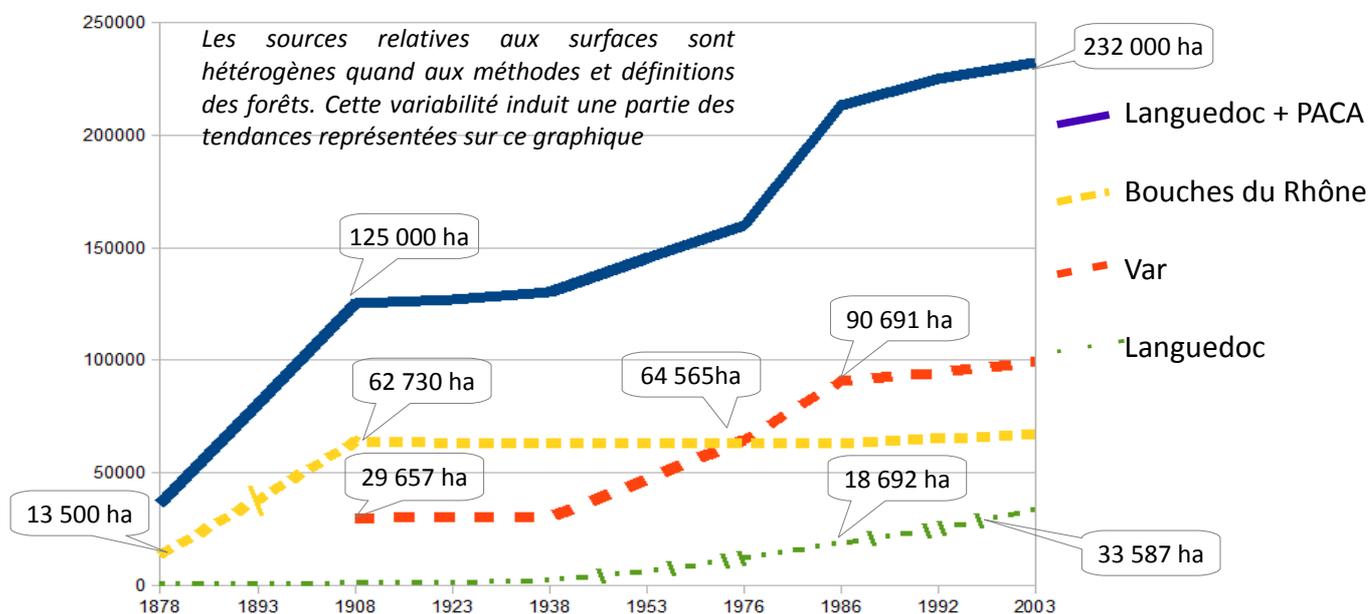


Des millions de m³ de bois d'œuvre

Les données bibliographiques sur la ressource en pin d'Alep sont assez rares. Souvent abordées assez superficiellement en introduction de documents dont l'objet est différent. Cependant quelques documents font référence dans ce domaine et peuvent être complétés par les données de l'Inventaire Forestier National.

ÉVOLUTION DE LA SURFACE DU PIN D'ALEP

L'aire de répartition du pin d'Alep en France représente un domaine de 3,5 millions d'hectares. En progression, le pin d'Alep est une essence indigène à la région méditerranéenne où il est présent, au moins depuis la fin du dernier maximum glaciaire. Il est climacique dans les zones rocheuses des chaînons calcaires littoraux.



Surface occupée par le pin d'Alep sur différents territoires méditerranéens, depuis 1878 (en hectares)

Son extension en Provence a été due, à la fin du XIX^e siècle, à des plantations sur des terrains dégradés pour la production de résine, industrie importante à ce moment là. Cette campagne de plantation a permis d'atteindre plus de la moitié de la surface actuelle de l'essence dès 1908. Une seconde vague d'extension du pin, en Provence comme en Languedoc s'est déroulée dans la seconde moitié du XX^e siècle par ensemencement naturel de terres agricoles et terrasses abandonnées.

La surface couverte par le pin d'Alep en PACA, en 2003, est de 223 000 hectares, essentiellement concentrés sur le Var (44%) et les Bouches du Rhône (30%).

Cette surface a progressé de 11% entre 1990 et 2005, principalement localisée sur les massifs littoraux, les Alpilles, le Luberon et le Haut Var tandis qu'une régression est observée sur les Maures, la dépression varoise et le sud Luberon.

En PACA, la surface couverte par le pin d'Alep se trouve essentiellement en forêt privée (81%).



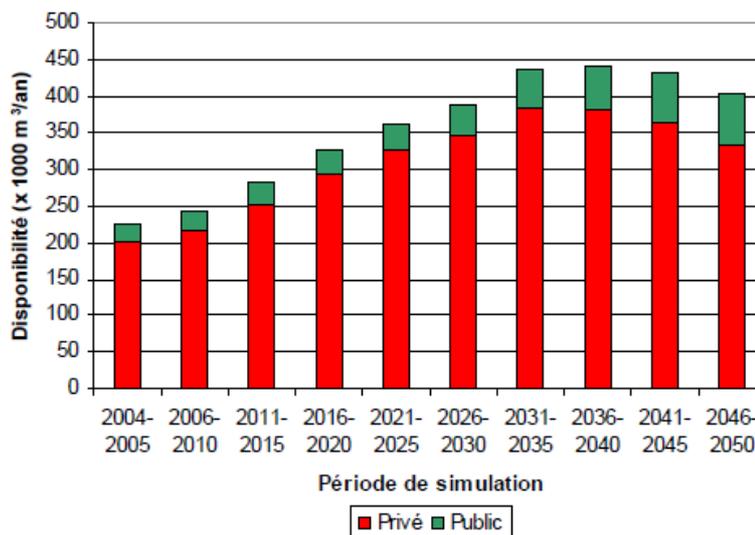
DISPONIBILITÉ EN VOLUME

Le volume de pin d'Alep était de 12,3 millions de m³ en 2005 et est de 14 millions de m³ en 2014.

La production annuelle est de 543 000 m³/an en 2005, ce qui correspond à un accroissement courant de 2,4 m³/ha/an. Les projections sur les peuplements existants portent la production annuelle à 731 000 m³/an en 2035. Le volume moyen des peuplements de pin d'Alep est de 53 m³/ha.

La disponibilité en bois de pin d'Alep est cependant contrainte par :

- des difficultés physiques d'exploitation, dans la limite de 15% de la disponibilité,
- des difficultés structurelle liées au foncier, 30% de la disponibilité dans des propriétés privées de moins de 4 ha, et à l'urbanisation.



Évolution de la disponibilité en pin d'Alep en PACA sur la période 2000 – 2050, AFOCEL 2005

La disponibilité, part de la production disponible à la récolte, est estimée à 281 000 m³/an sur la période 2011-2015 et à 442 000 m³/an sur la période 2036-2040. Cette disponibilité est située pour 90 % en forêt privée.

ESTIMATION DE RÉCOLTE

La récolte est une donnée dont l'estimation est très imprécise. Cette imprécision induit une très faible maîtrise de l'évolution de la ressource en pin d'Alep.

Récolte calculée sur base des données IFN	Perte par incendie	Récolte selon Enquête annuelle de branche	Récolte retenue
204 000 m ³ /an (période 1977 – 2001)	> 24 800 m ³ /an (période 1986-2001)	100 – 120 000 m ³ /an (période 1986 – 2001) 127 000 m ³ /an (période 2006 - 2010)	80 000 m ³ /an (2005) 50 à 100 000 m ³ /an (2006)

Récolte moyenne de 2006 à 2010 sur la base de l'Enquête annuelle de branche

Volume de pin d'Alep commercialisé par l'ONF sur la région méditerranée en 2007/2008 : 28 000 m³
Approvisionnement en pin d'Alep de la papeterie de Tarascon (en 1989 – 1990) : 53 à 64 000 tonnes /an



● APPROCHE QUALITATIVE DE LA RESSOURCE

Malgré une valorisation quasiment exclusive du pin d'Alep en papeterie et comme bois énergie, quelques approches qualitatives de la ressource

montrent la part de bois d'œuvre dans la ressource forestière.

La part des bois de plus de 35 cm de diamètre à 1,3 m est de 50% dans la période 2011-2015 et devrait monter à 60% dans la période 2036-2040. Ce critère du diamètre est un des critères majeurs du classement des bois pour une valorisation en bois d'œuvre.

Les données de l'Inventaire Forestier National permettent de disposer d'une approche de la répartition en qualité des bois en forêt.



	PACA	Languedoc - Roussillon
Classe 1 (tranchage, déroulage, menuiserie fine)	2%	1%
Classe 2 (menuiserie, charpente, coffrage)	46%	32%
Classe 3 (industrie)	52%	67%

Cette répartition des volumes selon les qualités de bois sont à comparer avec une estimation de l'usage du bois de pin d'Alep essentiellement tourné (90 à 100 % selon les auteurs) vers la trituration (pâte à papier) et plus récemment pour le bois-énergie.

Ces chiffres sont confirmés par des études ponctuelles (sur quelques placettes généralement) sur des territoires restreints.

	Classe A et B (Menuiserie)	Classe C (Charpente, Palette)	Classe D (Industrie)
Sud Lubéron (qualité actuelle)	4%	13%	83%
Salernes – Var (qualité actuelle)		20%	80%
Bouches du Rhône (qualité potentielle)	39%	30%	31%

Dans les études relatives à la qualité actuelle des bois sur pied, la limite qualitative du classement est le plus souvent posée par le diamètre fin bout plutôt que par les nœuds ou la rectitude.

LES ESSENTIELS

Évolution de la ressource en pin d'Alep en région PACA ». AFOCEL, 2005.

Grulois, S., J. Peeters, et Thivolle-Cazat. « Dynamiser la gestion du pin d'Alep. Étude prospective de la ressource et mécanisation de la récolte en PACA ». Forêt méditerranéenne XXVII, n1, 2006

Grulois, S. Une ressource en forte augmentation. In Le Pin d'Alep En France., 2013



Pin d'Alep – mieux connu / mieux vu

Valoriser le pin d'Alep, synthèse documentaire



Bois d'œuvre depuis 3000 ans cherche emploi sérieux

Les données bibliographiques sur les usages du bois de pin d'Alep sont très disparates. Les données relatives aux usages anciens et usages actuels sont généralement peu sourcées et noyées dans des documents s'intéressant à d'autres domaines. En revanche, les documents relatifs aux usages à développer sont généralement très pointus et ciblent précisément leur sujet.

USAGES ANCIENS

Les documents relatifs aux usages anciens du bois de pin d'Alep se plongent souvent aux origines de l'histoire et sont plus évasifs sur les usages du pin d'Alep dans l'histoire récente.

Le pin d'Alep était couramment utilisé dans l'antiquité grecque et romaine pour la construction navale (navires, cales de halage, pieux pour quai et appontement).

Une étude sur 28 épaves de navires antiques de la côte méditerranéenne française a montré que le pin d'Alep avait été utilisé dans la charpente axiale – quille, étambot – carlingue- sur 3 navires ; dans les bordés sur 8 navires et dans les membrures sur 8 navires.

Cet usage dans la construction navale a continué jusqu'au XX^e siècle.



Varangue en pin d'Alep sur le navire construit dans le cadre du projet d'archéologie expérimentale « Protis ».
Photo L. Damelet, CCJ-CNRS/AMU

Les usages en charpente dans les édifices religieux antiques ou dans les habitations rurales médiévales sont parfois évoqués même si il semble qu'en France, cet usage soit marginal. Les références sur ce sujet restent cependant très rares.

La résine et ses dérivés (goudron, poix, bois gras) ont connu des usages de l'Antiquité au XX^e siècle pour l'éclairage comme pour le calfatage des navires. On trouve notamment des références faisant part de l'usage du « bois gras », bois saturé de résine, comme allume-feu ou comme torche.

La résine est fréquemment évoquée comme usage ancien. Son exploitation a justifié l'extension de l'essence en Provence au XIX^e siècle. Dans les Bouches du Rhône, en 1829, 49 ateliers travaillaient 1225 quintaux de résine produisant 283 quintaux de « térébenthine de Provence ». Cet usage disparu depuis la moitié du XX^e siècle semble avoir perduré au Maghreb.



USAGES ACTUELS

Le pin d'Alep est encore utilisé de manière marginale dans ses usages anciens comme la construction navale (pour la réparation des petits navires vernaculaires sur les deux rives de la méditerranée).

La plupart des documents indique que l'usage principal du bois de pin d'Alep est l'utilisation comme bois d'industrie pour la papeterie et plus récemment pour le bois énergie. Cet usage ne fait cependant que rarement l'objet de développements.

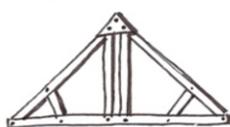
Ce sont en revanche les usages plus anecdotiques qui font l'objet d'une documentation un peu plus poussée. Il s'agit de listes d'usages, un peu généralistes, ou de documents rapportant une expérimentation de transformation du pin d'Alep, généralement réussie.



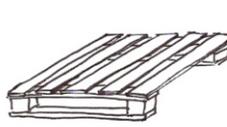
Bois de feu
(en Espagne)



Bois de mine,
Poteaux,
Allumettes
(au Magrheb)



Petite charpente
Lamellé-collé



Palette, coffrage,
Caisserie, emballage
Traverses de
chemins de fer



Menuiserie ordinaire,
Mobilier



Mobilier extérieur, source FCBA



Panneaux d'information, Grand Site Sainte Victoire



Mobilier intérieur, source FCBA



*Palettes en pin d'Alep, scierie des Arcs.
Photo A.Lecourbe*



*Charpente lamellé-collé pins noirs/d'Alep/sylvestre
Centre Forestiers de la Bastide des Jourdans
Photo A.Lecourbe*

Les comptes rendus des essais de transformation pratiqués sont généralement assez positifs. Ils témoignent d'une assez bonne aptitude du pin d'Alep au sciage et à la transformation.

Sciage : Facile, encrassement léger par la résine pouvant être traité (allongement du pas)

Rabotage : Bonne aptitude y compris sur les nœuds

Mortaisage/toupillage : Bon résultats

Usinage : Conforme à la normale, mais présence de nœuds et tensions internes

Ponçage : Encrassement dû à la présence de résine

Traitement : Absorption des produits lente du fait du grain fin et de la résine

Assemblage : Vissage délicat (avant-trous nécessaires), clouage facile, délicat ou peu satisfaisant

Collage : Sans difficulté à la colle urée-formaldéhyde -350 g / m²- ; satisfaisant à la colle vinylique à eux composant ; difficile sur les bois résineux

Durabilité naturelle : A qualifier

Finitions : Peinture et lasure possibles

La production de palettes et d'emballages (caisses à fruits) semble être le principal usage du bois de pin d'Alep alternatif au bois d'industrie en Espagne. C'était également un usage très développé en Provence dans la seconde moitié du XX^e siècle.

Des usages d'autres produits de l'arbre sont également encore d'actualité. L'écorce riche en tanin, semble exploitée dans le sud de l'Espagne. La production de gomme fait l'objet de recherche au Maghreb où le rendement est compris entre 1,5 à 3 kg de gomme / arbre / an. Les différences de rendement entre pin d'Alep et pin maritime sont non significatives. Le rendement en essence de térébenthine de la gomme de pin est de 18 à 27 %

Enfin, est également évoqué un usage des graines de pin d'Alep au Maghreb (avec une réputation aphrodisiaque) et la production d'une crème utilisée en pâtisserie (Zgougou) à partir des ces graines.





● **USAGES POSSIBLES**

Deux marchés susceptibles de consommer des volumes significatifs s'offrent au pin d'Alep :

- l'emballage léger : les sites de production de palettes neuves se doivent d'être spécialisés mais des unités des régions limitrophes pourraient offrir des débouchés pour les billons de sciage ; le marché des sciages pour la palette recyclée est très demandeur, avec un cahier des charges moins exigeant,
- les produits pour la construction (surtout charpente et structure – sous réserve de normalisation- et ouverture et agencement) mais aussi les bardages intérieurs,

Des recherches ont été menées dans les dernières années sur d'autres usages visant à valoriser des sections courtes des grumes de pin d'Alep de manière à permettre la purge des défauts du pin.

Déroutage : Les qualités du pin d'Alep proches du pin maritime et le débouché de masse de cette essence en contreplaqué ont conduit à mener des études d'adaptation des processus de déroulage (réglage des machines et étuvage) au pin d'Alep. Le déroulage permet de valoriser des bois de faible diamètre ou mal conformés car le billonnage court permet de s'affranchir des défauts de forme de la grume. Les réglages des machines et l'étuvage sont proches de ceux appliqués dans l'industrie du pin maritime ce qui confirme la proximité des deux essences dans leur mode de transformation.

Produits reconstitués : Le Lamibois (Laminated Veneer Lumber), plateaux de feuille de bois déroulés ; le bois massif reconstitué (ou contrecollé), poutres constituées de lames de forte épaisseur ou encore le lamellé-collé ont fait l'objet d'essais de production en pin d'Alep, tous considérés comme satisfaisant et tous considérés comme adaptés à la valorisation de cette essence pouvant rarement être utilisée en l'état sous forme massive (bois de petite dimension, purge des défauts). Ces produits demandent cependant des investissements importants pour la mise en place d'unités de transformation compétitives.

● **CHIMIE**

La résine du pin d'Alep a connu de nombreux emplois médicaux tant externes (vulnérable, remède dermatologique) qu'internes (affections respiratoires). L'usage est attesté de ses bourgeons en infusion pour leur vertu antitussive.

Les composés chimiques de la résine de pin d'Alep sont très variables selon les provenances (et probablement d'un arbre à l'autre). Les principaux composés sont l' α -pinène, le β -pinène, le sabinène, le myrcène, le limonène, le Δ^3 -carène, (*E*)- β -caryophyllène,

La résine peut être extraite du bois, notamment des zones internes des grumes (noyaux de déroulage).

L'huile essentielle de térébenthine de pin d'Alep présente des propriétés antibactériennes et antifongiques. Les extraits d'aiguilles et de branches ont une activité antioxydante et anticholinestérase (propriété utilisée dans les médicaments contre la maladie d'Alzheimer ou dans des pesticides).

LES ESSENTIELS

Lieutaghi, P. Ethnobotanique : histoire sociale, usages anciens. In Le Pin d'Alep En France., 2013

Le Courbe, A. « Valorisation de cinq essences méditerranéennes dans la filière bois ». ONF - AgroParisTech, 2009.

Gerard, Jean. « Caractérisation technologique et valorisation en bois d'œuvre du pin d'Alep (pinus halepensis) de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur », 2004.



Pour bien valoriser, il faut bien trier

Les données bibliographiques sur les critères de classement du bois de pin d'Alep sont très ponctuelles et peu spécifiques à cette essence. Les informations relatives à ses singularités et « défauts » sont plus diffuses mais s'appuient rarement sur des données chiffrées et objectives. Seule la résine a fait l'objet de recherches spécifiques.



CLASSEMENT

Caractéristiques	Classes			
	A	B	C (emballage)	D (industrie)
Nœuds				
adhérents, sains	exclus	≤ 5 cm	≤ 7 cm	Sans limite
morts	exclus	≤ 4 cm	≤ 6 cm	Sans limite
pourris	exclus	exclus	≤ 4 cm	Sans limite
Bosse	exclue	permise	permise	permise
Courbure	≤ 2 cm/m	≤ 2 cm/m	≤ 5 cm/m	Sans limite
Attaques d'insectes	exclues	exclues	exclues	Permisses
Pourriture (champignons)	exclue	exclue	Tolérée si peu important ou localisé	Permise si gros diamètre
Inclinaison	exclue	Faible inclinaison (<10%) tolérée	< 20 °	Sans limite

Proposition de critères de classement des bois sur pied

Ces critères de classement des bois sur pied ont été adaptés à partir de la norme AFNOR de classification du pin maritime. Ils ont pu être utilisés dans quelques études très ponctuelles pour estimer la qualité des bois sur pied en peuplement ou de la qualité potentielle de ces peuplements.

	Classe A et B	Classe C	Classe D
Sud Lubéron (qualité actuelle)	4%	13%	83%
Salernes – Var (qualité actuelle)		20%	80%
Bouches du Rhône (qualité potentielle)	39%	30%	31%

Ce classement des bois sur pied peut être complété par un classement d'aspect des sciages résineux.

	Choix 0 Ébénisterie, menuiserie fine	Choix 1 Menuiserie courante	Choix 2 Fermette, lamellé-collé	Choix 3 Ossature, charpente	Choix 4 Autres
Étude CIRAD sur 19 grumes (triées en scierie)	1,3%	10,8%	26,1%	34,4%	27,5%

L'un des essais de sciage mené sur du pin d'Alep a montré que le rendement matière est de 62%. Ce rendement, très proche du rendement matière pour les bois résineux est très correct mais lié à des grumes courtes (de 200 à 230 cm)



SINGULARITÉS

Les singularités (ou défauts) du pin d'Alep justifient pour de nombreux auteurs sa faible utilisation en sciage.

Les singularités les plus fréquemment citées sont :

- son port tourmenté induisant des courbures de la bille et la présence de cœur excentré (des témoignages de scieurs atténuent ce défaut qui semble être plus rare chez le pin d'Alep que chez le pin maritime -15% de bois de compression identifié dans un essai mécanique-),
- la présence de gros nœuds (petits selon certains auteurs) due à un mauvais élagage naturel. Ces nœuds semblent se comporter remarquablement bien sous l'outil et conduisent rarement à des déclassement lors des classements des bois sur pied,
- les zones d'entre-écorce (qui peut conduire à des déclassements),
- la richesse en résine (voir chapitre après),
- une décroissance un peu forte des bois, courts,
- altération des bois (roulure, bois gras, pourriture du cœur) dont le risque s'accroît avec l'âge.

Pour la plupart des auteurs, ces singularités induisent une nécessité de débiter les grumes en petites longueurs et de réaliser de nombreuses purges. Les essais de sciage réalisés ont effectivement été réalisés sur des billons de courte longueur.



*Plot sans défaut (Choix 0)
Photo CIRAD*

De rares auteurs signalent que la morphologie et le développement architectural du pin d'Alep et du pin maritime sont très proches.

« 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. »

Le pin d'Alep est très sujet au bleuissement (comme le pin maritime). Les divers essais menés ont été confrontés à des problèmes de stockage avant et après sciage, causant des bleuissements sur 60 % des billes. Ce phénomène ne pose cependant que des problèmes esthétiques (taches colorées).

La pourriture du cœur et le bois gras sont également régulièrement cités comme des défauts importants du pin d'Alep, liés au vieillissement des arbres et aux pièces de gros diamètre. Ces deux phénomènes, bien que souvent non expliqués, semblent liés au champignon lignivore *Trametes pini* (voir fiche « PATHOGENES »).

RÉSINE

Le fort taux de résine du pin d'Alep est habituellement invoqué comme l'un des obstacles majeurs à sa valorisation en sciage.

Les inconvénients dus aux défauts de résine cités sont l'encrassement des lames, l'hétérogénéité des propriétés du bois, son durcissement posant des problèmes au clouage ainsi que des problèmes d'adhérence des produits de finition.



Au cours des essais de sciages rapportés dans la documentation, il n'y a pas d'encrassement des lames observé malgré une résine abondante. Des mesures indiquent que le taux de résine du bois est équivalent entre pin d'Alep et pin maritime.

Sur la partie extérieure de l'arbre, le taux de résine est très faible (1,8%) et peut monter à 10 % en moyenne (jusqu'à 30%) au cœur, quel que soit l'âge. Le taux de résine n'est pas lié au processus de duraminisation.

C'est donc la partie intérieure des billons de pin d'Alep qui est très résineuse. Cette partie est estimée à 2/5 du diamètre (16% du volume du billon).

L'exclusion des zones du bois riches en résine est possible par sciage en périphérie avec rotation par quart de tour ou par déroulage. La valorisation des cœurs résineux est alors possible pour une extraction de composés chimiques ou comme combustible.

La problématique de la résine peut également être contrée après la phase de sciage où elle s'avère peu gênante, par un séchage adapté. En effet, la résine durcit au séchage et ses constituants se polymérisent aux températures moyennes mises en œuvre en séchage traditionnel (70-80°C).

Le cœur résineux (ou cœur gras) est un défaut considéré comme réhibitoire qui est différent de la question de la teneur en résine du bois de pin d'Alep.

LES ESSENTIELS

[Polge, H. « Le bois de pin d'alep ». Forêt méditerranéenne XIII, n° 3 \(1992\).](#)

[Belvaux, E. « Utilisation du bois de pin d'Alep: présentation d'un essai de transformation ». Forêt méditerranéenne XIII, n° 3 \(1992\).](#)

[Langbour, P., and Gerard, J. \(2011\). Caractérisation technologique et valorisation en bois d'œuvre du pin d'Alep de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Forêt Méditerranéenne XXXII.](#)





► Un bois qui n'a plus à faire ses preuves

Les mesures réalisées sur la qualité technologique du bois de pin d'Alep sont relativement nombreuses mais souvent basées sur des échantillons de petite taille ou de faible représentativité. Ces études indiquent une forte variabilité des caractéristiques technologiques du pin d'Alep mais signalent toujours sa proximité avec le pin maritime.

● **MESURE DES CARACTERISTIQUES TECHNOLOGIQUES**

Les caractéristiques technologiques des bois restent très variables en fonction de la répartition géographique des peuplements, ce qui nécessite la mise en place d'études locales pour une meilleure connaissance du matériau.

	THIBAUT 86	GERARD 2004	SERAM 87	THIBAUT 92	POLGE 92	VIGNOTE-PENA 2014
	Synthèse sur 4 arbres tunisiens, 9 israéliens et 7 espagnols	Expérimentation sur 19 billons provençaux	Comparaison de 3 éprouvettes de pin d'Alep, 1 provenance	Synthèse bibliographique bassin méditerranéen	Synthèse bibliographique	Synthèse espagnole
Retrait volumétrique	12,7 %			11,85 %		12,5 % (10 – 16,4)
Retrait radial total		4,1 % (3,7 – 4,7 %)		4,55 %	4,9 – 6 %	4,7 %
Retrait tangentiel total		7,3 % (7 – 8,1 %)		7,4 %	6,9 – 7,5 %	7,6 % 7,5 – 7,7 %
Dureté Monin	3,5	2,8 (2,4 – 3,1 %) jusqu'à 12 %	4,07	2,86)		Radiale : 3,4 (3,1 – 3,7) tangentielle : 2,5 (1,4 – 3,4)
Contrainte de rupture en cisaillement	80 kg/cm ² 7,8 MPa*		51 **	79,2 kg/cm ² 7,8 MPa*		
Contrainte de rupture à la compression	493 kg/cm ² 48,3 MPa*		679 bar 67,9 MPa*	473 kg/cm ² 46,4 MPa*	464 – 532 kg/cm ² 45,5 – 52,2 MPa*	463 kg/cm ² (379 - 532) 45,4 MPa*
Résistance en traction perpendiculaire	24,5 kg/cm ² 2,4 MPa*		35,67 kg/cm ² 3,6 MPa*	24,6 kg/cm ² 2,4 MPa*	24,6-24,9 kg/cm ² 2,4 MPa*	Radial : 25 kg/cm ² (23 - 26) 2,4 MPa Tangen: 23 kg/cm ² (20 - 29) 2,2 MPa
Contrainte de rupture à la flexion	1250 kg/cm ² 122,6 MPa*	836,2 kg/cm ² * 82 Mpa (63 – 98 Mpa)	1609 DaN/cm ² 160,9 MPa*	1043 kg/cm ² 102,3 MPa*	1070 – 1383 kg/cm ² 104,9 – 135,6 MPa*	



	THIBAUT 86	GERARD 2004	SERAM 87	THIBAUT 92	POLGE 92	VIGNOTE-PENA 2014
Module d'élasticité = Module d'Young	1 100 kg/mm ² 10 787 MPa*	1 142,1 kg/mm ² * 11 200 Mpa (8300-13500)		1 145 kg/mm ² 11 228,6 Mpa		101500
Module d'élasticité en flexion statique					107 500 kg/cm ²	101 500 kg/cm ²
Résistance au fendage transversale			25,5 kg/cm 25 DaN/cm		13,6 – 14 kg/cm ²	12,72 kg/cm (0,16 - 13,8)
Résistance au choc	0,282 kg/cm ²			1,7 kg.m**	1,72 à 2,1 kg.m **	
Module d'Young		11 200 Mpa (8300-13500)				
Densité (masse volumique)	0,58* 580 kg/m ³	0,55 à 12 % (0,53 – 0,58) 550 kg/m ³ *	0,55 à 0 % 550 kg/m ³ *	0,575 575 kg/m ³ *	0,59 à 12 % (0,54 – 0,66) 590 kg/m ³ *	0,55 (0,48 – 0,62) 550 kg/m ³ *
Indice de feutrage	82				82	

Kappa (taux de lignine résiduel après cuisson) : 34,6 (le plus haut des résineux) ce qui induit des impuretés dans la pâte.

Indice de déchirement des fibres : 800 à 1050 (faiblesse mécanique)

Longueur de rupture des fibres : 10500 (résistance à l'élongation).

Rendement papetier (tonne de bois brut / tonne de pâte) = 4, 71

Cendres : 0,48%

Lignine : 25 %



COMPARAISON DES ESSENCES

Le pin d'Alep est comparé à diverses essences, notamment le pin maritime et les principales essences résineuses méditerranéennes (pin sylvestre, sapin, pin noir, ...).

La variabilité des caractéristiques technologiques du pin d'Alep est souvent supérieure aux différences avec les autres résineux. Le pin maritime est souvent très proche du pin d'Alep vis à vis de ses caractéristiques mécaniques.

Le pin noir et le pin d'Alep sont plus performants que le mélèze et le pin sylvestre pour la cohésion transversale (dureté, cisaillement, traction perpendiculaire, fendage). Le mélèze, pin noir et pin d'Alep sont supérieurs pour la cohésion axiale (compression, flexion) aux autres résineux. Enfin, son bois est plus homogène que les autres pins français

Le pin d'Alep, bois stable, résistant aux contraintes en rupture, est potentiellement un bon bois d'œuvre. Sa densité un peu forte peut constituer un frein, mais sa dureté élevée est favorable à une utilisation en revêtement de sol (en intérieur).



Signification des abréviations du tableau infra

E : Épicéa	PM : Pin maritime
S : Sapin	PN : Pin noir
D : Douglas	PS : Pin sylvestre
M : Mélèze	PL : Pin laricio
	PC : Pin à crochet

	THIBAUT 86	GERARD 2004	SERAM 87	THIBAUT 92	POLGE 92
Retrait volumétrique	<E/PM/PS			PA/PM : 0,87	< PS/ PM
Retrait radial total				PA/PM : 0,92	> PM
Retrait tangentiel total				PA/PM : 0,96	< PM
Dureté	>E/PS < PM		> S/PC/PS < PN/M	PA/PM : 0,9	
Cisaillement	> PS/E/PM		> S/PC/M/PS = PN	PA/PM : 0,91	
Résistance au choc	>PM/E <PS				< PS
Contrainte de rupture à la flexion	>E/PS <PM			PA/PM : 1,05	< PL/PN/PM
Flexion : fatigue de rupture			> S/PC/PS / M < PN		
Contrainte de rupture à la compression	>E <PS/PM			PA/PM : 1,01	
Compression axiale : résistance			> S/PC/PS < PN/M		
Résistance à la traction perpendiculaire	>E/PS/PM		> PC/S/M/PS/PN	PA/PM : 0,95	
Résistance au fendage			> S/PC/PS/M/PN		
Densité			> S/PC/PS < PN/M	PA/PM : 1,02	> PS, Brutia
Rendement papetier					< PN > D/PM

Lecture du tableau :

Résistance au choc	>PM/E <PS	Le pin d'Alep a une résistance au choc supérieure à celle du pin maritime ou de l'épicéa mais inférieure à celle du pin sylvestre
--------------------	--------------	---



Essence	Densité	Retrait radial total (%)	Retrait tangentiel total (%)	Dureté (Monnin)	Rupture en flexion (MPa)	Module d'Young (MPa)
Pin d'Alep (PACA)	0,55 (0,53 - 0,58) bois léger	4,1 (3,7 - 4,7) moyen	7,3 (7 - 8,1) moyen	2,8 (2,4 - 3,1) tendre	82 (63 - 98) moyen	11200 (8300 - 13500) moyen
Pin sylvestre	0,52 (0,45 - 0,60) bois léger	4,1 (3 - 5,5) moyen	7,8 (6,2 - 9) moyen	3 tendre	90 moyen	11900 (9500-13500) moyen
Douglas	0,51 (0,47 - 0,60) bois léger	4,5 (3,5 - 6) moyen	7,2 (6 - 8,5) moyen	2,2 tendre	85 moyen	12100 (10000-14000) moyen
Sapin	0,40 (0,35 - 0,50) bois très léger	3 - 4 faible	6 - 8 moyen	1,5 très tendre	68 faible	10000-12000 moyen
Epicéa	0,45 (0,38 - 0,50) bois très léger	3,6 (3 - 4) faible	8 (6,5 - 9) moyen	1,4 très tendre	71 faible	11000 (9500-12500) moyen

Qualification du pin d'Alep et comparaison à quelques résineux français utilisés en structure. Gérard 2004

LES ESSENTIELS

Thibault, B. « Caractéristiques technologiques du bois de pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) ». Options méditerranéennes, 1986.

Gerard, Jean. « Caractérisation technologique et valorisation en bois d'oeuvre du pin d'Alep (*pinus halepensis*) de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur », 2004.

Thibault, B. C. Loup, B. Chanson, et A. Dilem. « La valorisation du pin d'alep en zone méditerranéenne française ». Forêt méditerranéenne XIII, n° 3 (1992).

Vignote Peña, S. Principales maderas de coníferas en España características, tecnología y aplicaciones. Monographie. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2014.



Un pin à surveiller comme le lait sur le feu

Les données bibliographiques sur la prévention des incendies sont très rarement ciblées sur le pin d'Alep. Elles concernent généralement le territoire soumis aux incendies et les milieux occupés par le pin d'Alep. Le pin d'Alep offre donc un angle très particulier à la question de la prévention des incendies de forêt.

SENSIBILITE AU FEU

Les formations à pin d'Alep sont généralement décrites comme étant particulièrement sensibles au feu : inflammables et combustibles. Cette sensibilité est souvent liée à la stratégie de reproduction du pin d'Alep, adaptée à l'incendie.

Le houppier clair du pin d'Alep, sa concentration en terpènes (7 fois supérieure au pin maritime) et sa capacité à s'enflammer lui confèrent une très forte **inflammabilité**. Au même titre que les feuilles des chênes sempervirens, les bruyères, ajoncs et herbacées. Les litières de pin d'Alep sont parmi les plus inflammables mais le sont d'autant plus qu'elles sont mêlées de feuilles de chênes.

Le rôle des cônes de pin d'Alep dans le phénomène des **sautes de feu** à longue distance est très important. Ce matériel végétal possède une grande durée de combustion et peut donc être transporté par la convection du feu sur de grandes distances.

Les peuplements à pin d'Alep sont souvent caractérisés par une forte continuité spatiale de la biomasse combustible. Les couverts de pin d'Alep souvent peu denses favorisent la croissance des strates herbacées et arbustives. Cette caractéristique induit une propension des peuplements de pin d'Alep à propager le feu verticalement.

En proportion de leur surface, ce sont les peuplements mélangés de pin et chêne, ainsi que les jeunes peuplements qui sont les plus sensibles aux incendies (période 1970 – 1990).



ECLAIRCIE DFCI

Ces caractéristiques des peuplements de pin d'Alep conduisent à l'établissement d'une série de recommandations, non spécifique à cette essence, visant à réduire la sensibilité des peuplements, pour que la propagation du feu soit moins forte :

- l'**élagage** permet de réduire la continuité verticale, cependant un élagage sur 1/3 de la hauteur du peuplement ne suffit pas à empêcher la combustion du houppier sauf pour les charges en combustible les plus faibles, un élagage sur 3 mètres est habituellement appliqué ;
- le **débroussaillage** du sous-étage permet également de réduire cette continuité ainsi que la puissance du feu de surface ;
- l'**éclaircie**, mettant les houppiers à distance les uns des autres, permet de réduire la continuité horizontale du combustible. La réduction du recouvrement d'arbres de 75 à 25 % permet de réduire significativement l'intensité du feu (mais une réduction de 50 % est insuffisante).



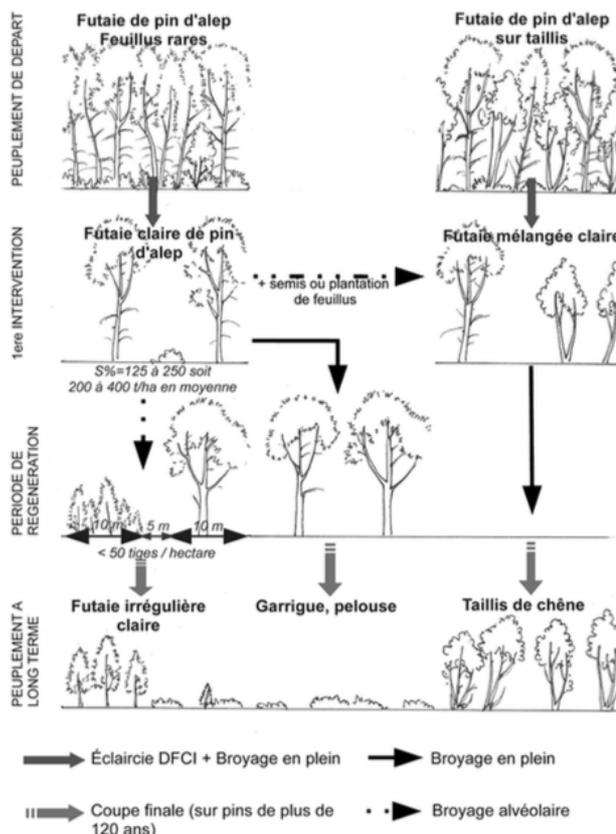
Ces éclaircies, dites DFCI (Défense des Forêts Contre l'Incendie) limitent les feux de cimes: les incendies se limitent à des feux de surface, ou à des feux de houppiers isolés.

L'inflammabilité de la végétation est diminuée pendant près de 5 ans après broyage avant de revenir égale à la situation initiale. Un broyage régulier est nécessaire, mais limite également la dynamique forestière: le broyage alvéolaire permet de laisser des tâches de régénération.

Lors de l'application d'une sylviculture à enjeux DFCI, le risque est d'aller vers une formation végétale non forestière si le sous-étage feuillu n'est pas présent.

Ces opérations d'éclaircie DFCI ont un coût assez élevé : de 800 à 2500 €/ha, intégrant la coupe des bois, l'élagage et le débroussaillage.

Le ratio réduction de la vulnérabilité au feu / coût d'investissement est le meilleur dans les peuplements au couvert arboré élevé (>80%) et les peuplements adultes capitalisés: Ils offrent un couvert qui limite la repousse du sous-étage. Le ratio est le moins bon pour les peuplements clairs où le sous-étage reconstitue rapidement une continuité avec les houppiers.



AUTOPROTECTION

L'autoprotection est définie comme la volonté de créer des peuplements résilients en cas d'incendie. Elle s'appuie sur la connaissance des critères favorables à la survie des pins en cas de feu et vise à créer des réserves de semenciers répondant à ces critères. Ce mode d'action semble plus développé en Espagne qu'en France.

La discontinuité (verticale et horizontale) est le principal facteur favorisant la survie (élagage, absence de sous étage au pied de l'arbre).

La résistance observée après des incendies en Catalogne montre que la survie est la meilleure pour des groupes de 2 à 10 pieds - de 10 à 50 tiges de manière moins efficace - de forme circulaires , d'une densité <75 tiges/ha (soit plus de 15m entre deux pieds).

Les pentes >30% et orientations fraîches (N, NE) sont les plus favorables à la survie des semenciers.

Cette mise en place de l'autoprotection est possible dans les pinèdes jeunes, denses et fermées ainsi que dans les pinèdes irrégulières claires et embroussaillées. Les situations de pinède mature fermée à sous-bois faible déjà moins sensibles à l'incendie, nécessitent moins de travaux d'autoprotection.

4 arbres survivants à l'hectare permettent d'assurer une régénération de 500 pieds/ha en une vingtaine d'années.



● BRULAGE DIRIGE

Le brûlage dirigé sous couvert de pin d'Alep a montré depuis des années son efficacité pour réduire le combustible bas tout en préservant les couches superficielles du sol et la strate arborée.

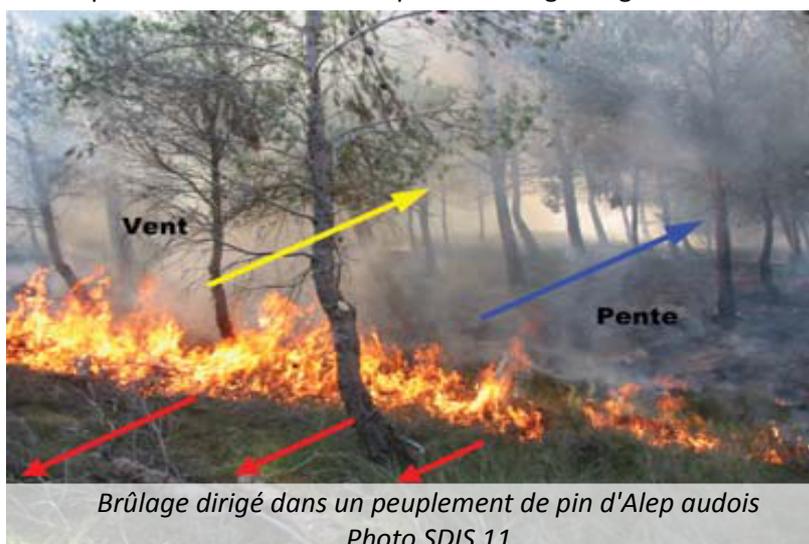
Le pin d'Alep est une espèce assez résistante au passage du feu grâce à son écorce épaisse au niveau du tronc. Il l'est cependant moins que le pin pignon et le pin maritime. Avec 80% du cambium détruit, les pins d'Alep continuent d'avoir une activité physiologique normale si le houppier n'est pas trop affecté. Aucune influence significative sur la croissance, l'intensité de la défoliation ou la mortalité de cette espèce n'a pu être révélée suite à trois brûlages dirigés successifs sur un même peuplement.

Les conditions permettant le brûlage dirigé sous couvert de pin sont liées au peuplement lui-même, à son état sanitaire, à l'état de la strate arbustive et aux conditions climatiques. L'objectif est de conduire un feu peu intense et peu rapide qui ne cause pas de dommage aux arbres en place.

Dans l'Aude, les brûlages dirigés sont réalisés dans une gamme de température de l'air de 8 à 19°C, pour une humidité de 23 à 80%, dans une gamme de vent de 10 à 65 km/h.

Le coût des chantiers (coûts de préparation, de matériel, de personnel) varie de 200 à 1200 €/ha, les chantiers les plus grands (>5 ha) étant les plus économiques.

La technique a montré son efficacité. Mise à l'épreuve du feu, des mortalités faibles (de 0 à 25 %) ont été observées dans des feux passant entre 0 et 3 ans après le brûlage dirigé.



LES ESSENTIELS

Ganteaume, A., Dupuy, J.L., and Pimont, F. (2013). Inflammabilité et comportement au feu. In Le Pin d'Alep En France,.

Alexandrian, D., and Rigolot, E. (1992). Sensibilité du pin d'Alep à l'incendie. Forêt Méditerranéenne XIII.

Castellano Rubio, A., and Reyna, S. (2009). Criterios para la formación de masas con reserva anti-incendios (MARAI). (Avilla: Sociedad Espanola de Ciencias Forestales).

Montverde, B., and Baylac, J.P. Le brûlage dirigé dans la séquence technique d'autoprotection des peuplements de pin d'Alep, de pin pignon et de pin maritime: retour d'expérience sur incendies passés, prescriptions, fréquence, techniques et coûts du brûl



Pin d'Alep – mieux connu / mieux vu
La valorisation du pin d'Alep, synthèse documentaire



D'étonnantes capacités de cicatrisation

Les données bibliographiques sur le comportement du pin d'Alep après les incendies de forêts sont assez nombreuses dans la littérature scientifique, en France mais surtout en Espagne et en Grèce. Les espagnols ont particulièrement travaillé sur la réalisation de travaux permettant d'améliorer la résilience des peuplements de pin d'Alep.



REGENERATION NATURELLE

Le pin d'Alep bénéficie d'un double système de régénération :

- production annuelle de graines prolifique,
- conservation d'un stock de graines de secours dans les cônes sérotineux.

La pluie de graines est très courte et très intense après un incendie : 60 à 75 % des graines sont disséminées pendant une période de 48h, entre le deuxième et le quatrième jour après le feu.

La pluie de graines s'arrête après 8 jours.

En moyenne, il tombe 76 graines/m².



Cône de pin d'Alep après incendie, photo O. Chandieux

Sans vent, plus de 90% des graines tombent dans un rayon de 10 m autour de l'arbre. Avec un vent fort (50-70 km/h) les graines parcourent jusqu'à 80 m mais l'essentiel de la pluie de graine ne dépasse pas 20 mètres. C'est la raison pour laquelle, il faut une densité minimum 75 arbres/hectare pour assurer une régénération correcte.

La première vague d'installation des semis a lieu après la première saison pluvieuse qui suit le feu. L'installation est complète en novembre-décembre, éventuellement complétée dans le printemps suivant. La température optimum de germination est de 15-20°C.

Il n'y a pas de relation claire entre densité des semis après feu et intensité du feu. Cependant, la mortalité des semis est plus faible et la croissance plus forte dans les feux de forte intensité.

Dans certains cas, la régénération après incendie du pin d'Alep n'est pas assurée : pente, pâturage.

Au dessus de 50% de pente, la régénération après incendie est réduite, notamment parce que les graines sont emportées sur la pente.



Dans les situations où la régénération naturelle du pin après-feu est douteuse (du fait d'une faible densité initiale par exemple) et où le couvert de pin est recherché (pour des raisons esthétiques, de protection des sols, récréatives, d'amélioration de l'environnement, ...) la plantation est la méthode de régénération la plus efficace, permettant de reconstruire un couvert résilient le plus vite. Une plantation à faible espacement (300 tiges/ha) est possible dans la situation où l'on ne recherche pas une production de bois. La croissance en hauteur des plants est bien meilleure (2,5 m à 8 ans) que celles de semis (artificiels ou témoin) : 1 à 1,5 m. Ces observations sont également vraies pour le diamètre au collet ou le diamètre du houppier.

DYNAMIQUE DE VEGETATION

Suite au feu, les herbacées et légumineuses explosent grâce à leur banque de graines dans le sol. Les premières contribuent à la limitation de l'érosion, les secondes à la fixation d'azote, dont les pertes sont fortes pendant le feu.

Après quelques années (autour de 5 ans), la composition en espèces rejoint la composition initiale du sous-étage. La biomasse (et le stock de carbone) du sous-étage est reconstitué 15 ans après l'incendie.

AMELIORATION DE LA RESILIENCE

L'objectif des travaux d'amélioration de la résilience consiste à rendre les pins d'Alep issus d'une régénération après incendie plus rapidement fertiles, de manière à ce que la répétition d'un incendie ne détruise pas le couvert arboré avant qu'il n'ait acquis la capacité de se reproduire.

Les travaux d'amélioration de la résilience sont des dépressages, des élagages, éventuellement des débroussailllements réalisés entre 5 et 10 ans après le feu.

La réalisation de dégagement (débroussaillage de la végétation arbustive concurrente type cistes) entre 2 et 4 ans après le feu, augmente la survie et la croissance des semis de pin. Mais ces interventions ont un effet d'augmentation du recouvrement arbustif après 2 ans. L'augmentation de la lumière et une réduction de la compétition en eau et en nutriments induit une reconstitution rapide du couvert arbustif.

La réalisation d'un dépressage (densité : 1600 t/ha après travaux) augmente significativement le taux d'arbres en reproduction (90% pour les peuplements de 20 ans et 65% pour les peuplements de 10 ans). L'opération provoque un accroissement de la production de cônes dès 5 à 7 ans. Le nombre de cônes est 2 à 6 fois supérieur dans les peuplements dépressés.

Le dépressage est conseillé pour favoriser la production de graines, dès 10 ans. En outre ce dépressage a un effet sur le diamètre, notamment sur les stations les plus fertiles et dans les régénérations les plus denses.

L'élagage, à ce stade, peut à contrario avoir un effet négatif sur la croissance.



*Dépressage d'un peuplement de pin d'Alep de 10 ans
Photo O. Chandieux*



FASCINAGE



*Travaux de création de fascine après incendies, Berre
Photo A. Lecourbe*

Il est montré que l'abattage d'urgence après-feu peut avoir un impact plus important que le feu lui-même sur les communautés d'oiseaux, par la substitution des spécialistes forestiers par des espèces de milieux ouverts. Les différentes actions de gestion après feu favorisent différentes espèces d'oiseaux hivernantes. Le feu et l'abattage après-feu favorisent les oiseaux strictement inféodés aux milieux ouverts.

Les disséminateurs de graines sont plus abondants quand des tas de bois brûlés (fascines) sont construits en quantité notable. La structure verticale de ces tas doit leur donner l'apparence de bosquets d'arbustes et attire les oiseaux dans les premiers stades de développement de la végétation en leur offrant des perchoirs et une ressource pour les insectivores.

Ces fascines abritent la croissance des plantes à graines. Les oiseaux disséminateurs y consomment les graines récupérées dans des zones proches.

La constitution de fascines d'au moins 0,5 mètres de hauteur après incendie, à une densité d'environ 15-25 tas/ha est favorable aux oiseaux nicheurs et à quelques migrants mais aussi aux lapins de garenne.

LES ESSENTIELS

[Vennetier, M. "Dynamique Spatiale de La Régénération Des Forêts Après Incendie En Basse Provence Calcaire, Cas Particulier Du Pin d'Alep." Cemagref - IMEP, 2001.](#)

[Gonzalez-Ochoa, A.I. \(2004\). Does post-fire forest management increase tree growth and cone production in Pinus halepensis? Forest Ecology and Management](#)

[Rost, J. \(2010\). Building wood debris piles benefits avian seed dispersers in burned and logged mediterranean forests. Forest Ecology and Management 260.](#)





Des pathogènes peu virulents mais menaçant la qualité du bois

Les données bibliographiques sur les problèmes phytosanitaires du pin d'Alep sont assez limitées. Elles ciblent essentiellement la description des champignons, insectes et éléments abiotiques, éventuellement les facteurs favorables à leur développement, mais très peu leur impact sur la production ou la conduite des peuplements.



PRINCIPAUX RAVAGEURS DU PIN D'ALEP

Pathogènes et ravageurs	Impact	Écologie	Critères de reconnaissance
Problèmes abiotiques			
Bris de neige	Les chutes de neige peuvent provoquer de très fortes casses de branches, volis et chablis. Des chutes de neige lourde en 1999 ont été la cause de dommages majeurs sur des centaines d'hectares le long de la vallée de la Durance. Ces dégâts induisent une forte augmentation du risque d'incendie.	Risque de neige lourde plutôt concentré sur l'arrière pays : Vallée de la Durance, Luberon, Centre Var.	
Gel	Le pin d'Alep est sensible au froid hivernal. Les grands froids induisent des réductions fortes de l'accroissement et de la production et peuvent induire des mortalités (1956 - 1986)	Risque accentué sur l'arrière pays et en altitude.	Rougisement, dessèchement et chute des aiguilles observables dès - 6°C.
Champignons pathogènes et bactéries			
<i>D'une manière générale, les champignons pathogènes du pin d'Alep sont plutôt des pathogènes secondaires qui induisent des dépérissements suite à des combinaisons de causes abiotiques (climat, pollutions, ...) fragilisant les peuplements.</i>			
Chancre des rameaux <i>Crumenulopsis sororia</i>	Présent depuis 1960 sur toute l'aire de répartition du pin d'Alep, mais deux foyers d'infection : dans le Haut Var et dans la Vallée du Rhône. C'est une des causes principales du déficit foliaire des houppiers du pin d'Alep, considéré comme une limite forte de la productivité du pin d'Alep, justifiant la conversion en taillis dans de nombreuses situations.	Le chancre du pin d'Alep est favorisé par l'humidité et la chaleur. Les pins sont plus sensibles aux attaques sur les plateaux (exposition au vent) et dans les bas de pente et vallons (humidité). Les attaques sont plus fortes dans les conditions de fertilité favorables.	Touche les branches et tiges du pin d'Alep. Le développement du champignon sur le rameau provoque des cicatrices au niveau des rameaux, des rougisements d'aiguilles par bouquet et une chute des aiguilles sèches donnant au houppier un aspect clair.



	Impact	Écologie	Critères de reconnaissance
<i>Sphaeropsis sapinea</i>	Induit des dessèchements de rameaux sur les peuplements affaiblis ou blessés par la grêle (ou touchés par le chancre).	<i>Sphaeropsis</i> souvent associé à des rouilles, est plus fréquent dans les zones à bonne ressource en eau.	Rougisement des aiguilles par bouquets, brûlures et nécroses corticales.
Rouille vésiculeuse des rameaux <i>Cronartium flaccidum</i>	Assez commune, sans grands dégâts (sinon des dessèchements de rameaux).	Se développe à la faveur d'une forte humidité printanière.	Vésicules blanches en fin d'hiver et au printemps. Jaunissement et chute des aiguilles.
Tramète des pins <i>Phelinus pini</i>	Champignon lignivore très fréquent, provoquant des pourritures du cœur et le cœur gras (voir plus bas).	Parasite des blessures profondes et des branches cassées. Les carpophores en lien avec le mycélium se situent aux endroits où affleure le bois de cœur.	Carpophore en forme de console appliquée au tronc, à face inférieure ondulée, brun-ferrugineux, garnie de tubes irréguliers et enchevêtrés.
Insectes ravageurs			
Hylésine des pins <i>Tomicus destruens</i>	Peut causer des dégâts importants (dépérissement, mortalité) par les galeries qu'il creuse sous les arbres. Il peut provoquer une épidémie suite à des périodes de sécheresses successives.	Menace dans les peuplements affaiblis par le gel, la sécheresse ou le passage du feu. Le stockage de bois en forêt pendant l'été favorise son développement.	En hiver, présence de pralines de résine sur les troncs, vermoulure rousse à la base des arbres. Présence de pousses vertes ou rouge au sol. Galeries sous-corticales. Mort de l'arbre.
Ciccadelle des aiguilles <i>Haematoloma dorsata</i>	La perte foliaire occasionnée ne remet pas en cause la pérennité des arbres, elle constitue au pire un facteur d'affaiblissement	Les facteurs favorables au développement, si ce n'est la présence d'herbacées, ne sont pas connus.	Dégâts causés par les piqûres alimentaires sur les aiguilles, changement de coloration (jaune ou rouge), partiel ou total. Le feuillage peut devenir complètement roux.
Processionnaire du pin <i>Thaumetopoea pityocampa</i>	Défoliations importantes observées lors des pullulations, mais pas de mortalité induite.		Défoliation, présence de chenilles de l'automne au printemps et des nids d'hivers blancs dans les parties hautes de l'arbre.



● POURRITURE DU COEUR

Le tramète des pins ou Polypore du pin (en latin : *Phelinus pini*, *Porodaedalea pini*, *Xanthochorus pini* ou encore *Trametes pini*) semble être un facteur important de la pourriture du cœur fréquemment observée sur les arbres âgés, et cause d'importantes pertes financières et de déclassement des bois. Peu connu malgré son omniprésence dans l'aire du pin d'Alep, la présente étude bibliographique a permis de mieux comprendre son fonctionnement et son importance.



Carpophore de tramète à l'aisselle d'une branche morte
Photo O. Chandieux

Le tramète se reconnaît par un carpophore en forme de console appliquée au tronc, à face inférieure ondulée, brun-ferrugineux, garnie de tubes irréguliers et enchevêtrés. Les tramètes peuvent atteindre 20 à 25 cm de diamètre et vivre une cinquantaine d'années.

Le mycélium du tramète se développe dans le bois de cœur de l'arbre. Pour se développer, la spore doit germer sur du bois de cœur. C'est donc un parasite des blessures profondes (choc au pied, carres de gemmage) et des branches cassées (ou branches mortes cassées par l'élagage naturel). Les carpophores en lien avec le mycélium se situent aux endroits où affleure le bois de cœur : les nœuds recouverts et chicots.

Le bois attaqué devient brun-rougeâtre puis se décolore, devient blanc et fini par former de petites cavités dans le bois de printemps. Le bois de cœur attaqué fini par former une masse jaunâtre sans consistance. L'aubier, lui, réagit en périphérie par la production de résine, formant ce que l'on appelle le bois gras.

Le pin d'Alep est surtout sensible à un âge avancé.

La prévention passe par la suppression des arbres atteints lors des éclaircies, par un raccourcissement des rotations pour ne pas conserver d'arbres trop âgés, sensibles. L'élagage des branches mortes est à proscrire. Il est plutôt à mener sur des branches vivantes de petite dimension.

LES ESSENTIELS

[Boutte, B. \(2012\). Information santé des forêts: Pin d'Alep les principaux problèmes sanitaires.](#)

[Botella, L., Santamaria, O., and Diez Casero, J.J. \(2013\). Champignons associés à la décomposition du bois de pin d'alep. \(Vitoria-Gasteiz: Sociedad Espanola de Ciencias Forestales\).](#)

[Anonyme \(1941\). La pourriture alvéolaire du bois de pin, le polypore du pin.](#)





Et si, d'une génération à l'autre, on améliorait les qualités du pin ?

Les données bibliographiques sur la génétique sont assez internationales, portant sur l'essence à l'échelle du bassin méditerranéen. Les questions de sélection sur la qualité des bois ne sont quasiment pas abordées. L'amélioration génétique est parfois envisagée par les sylviculteurs pour résoudre les questions de rectitude et de branchaison du pin, mais manifestement peu expérimentée.



PALEOGENETIQUE

Le pin d'Alep connaît une faible diversité génétique sur l'ensemble de son aire dans le bassin méditerranéen. L'aire de répartition de l'espèce s'est fortement rétractée pendant la dernière glaciation. Cependant, les provenances présentent des différences adaptatives. Les provenances orientales présentent de meilleures performances en terme de croissance mais les provenances les plus septentrionales sont plus tolérantes au froid.

Trois groupes génétiques sont distingués sur la base de la diversité des micro satellites chloroplastiques : en Grèce et Apulie (Italie), en Espagne, et le reste de la population. La diversité au sein de ces populations est plus forte que dans l'ensemble de l'espèce. Cela indique la présence de deux centres de diffusion pour la recolonisation de cette espèce après la période post-glaciaire.

L'autochtonie en Provence du pin d'Alep et ses traces dans les pollens, charbons et tufs en Provence littorale, après la fin de la dernière période glaciaire, correspond probablement à sa recolonisation après cette période froide peu favorable à l'espèce.



PIN BRUTIA / PIN D'ALEP

Le pin brutia et le pin d'Alep sont deux espèces distinctes occupant l'est de la méditerranée pour le premier, l'ouest pour le second. Mais le maximum de variabilité génétique au sein des populations se trouve sur la zone de contact entre les deux espèces, ce qui témoigne d'introgression entre les deux espèces.

Ces deux espèces ont des aires de répartition assez différentes qui expliquent une partie des échecs de plantation du pin brutia en France. Le pin d'Alep présente son développement optimal dans des zones dont la pluviométrie est comprise entre 350 et 700 mm. Le pin brutia se trouve, dans son aire d'origine, sous des climats plus humides et plus froids. Il est d'ailleurs, en plantation comparative, plus adapté au froid et moins adapté à la sécheresse.

Le transfert de gènes entre pin d'Alep et pin brutia n'est possible qu'au travers du pollen de pin d'Alep. Dans la zone de contact entre les aires de ces deux pins, des hybridations existent. Cette hybridation et l'absence de connaissances sur les qualités adaptatives de ces hybrides entre pin d'Alep et pin brutia incitent à limiter l'introduction d'une espèce dans les peuplements naturels de l'autre. Et ce d'autant que les semences issues de ce croisement ne sont fertiles que si le parent femelle est un pin brutia (donc le parent mâle un pin d'Alep).

Un programme d'amélioration génétique a été envisagé en Grèce pour l'amélioration de la qualité du bois et l'augmentation de la production de résine.

« L'autochtonie n'est pas une garantie infaillible d'adaptation à long terme. Mettre en contact des espèces phylogénétiquement proches, pour faciliter localement la création d'une diversité nouvelle, par exemple



dans un but de résistance ou tolérance au stress hydrique, me semble un objectif qu'il est raisonnable, voire urgent, de tester. » (Fady 2015)

● SELECTION GENETIQUE

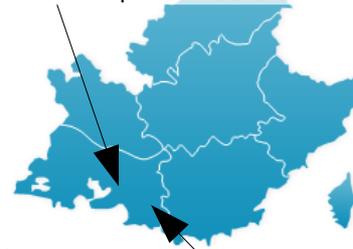
En France, deux plantations comparatives de provenance ont été mises en place mais avec une seule provenance française (Gemenos).

Sur ces plantations expérimentales, la provenance « Gemenos » est toujours la plus performante – en survie et en vigueur - (plus performante même que le pin brutia même sur les sites où cette essence est plus adaptée que le pin d'Alep).

La résistance au froid et à la sécheresse est dépendante de la provenance des individus. Il n'y a cependant pas de relation provenance - résistance à la chenille processionnaire ni provenance - croissance en hauteur.

Les provenances de pin d'Alep de Grèce, Israël et Afrique du Nord sont plus tolérantes à la sécheresse, mais sensibles au froid et ne peuvent être utilisées en reboisement en limite nord de l'aire.

Plantation de Vitrolles :
Précipitation = 569 mm/an,
Altitude = 200 m , Sol : calcaire
> détruite par un incendie



Plantation de Ceyreste :
Précipitation = 786 mm/an,
Altitude = 470 m, Sol : grès

Dans des conditions peu sèches (plantation expérimentale de Ceyreste VS Vitrolles), le pin brutia peut produire du bois en plus grande quantité et de meilleure qualité : +55% sur la hauteur et +50% sur le diamètre pour des provenances de pin brutia issues d'altitudes entre 400 et 900 m. Mais les provenances turques (est-Taurus, Mersin Findikpinari) sont à préférer aux provenances françaises. La plantation de pin brutia est conseillée entre 400 et 700 mètres, en dehors des zones de pin d'Alep naturel.

Les résultats obtenus sur les provenances de pin d'Alep invitent à n'utiliser que la ressource locale, qui garantit une très bonne tolérance au froid tout en offrant une bonne croissance même si la qualité des bois n'est pas optimale. Parmi les autres provenances, les provenances espagnoles « *Cohegin et Serra* » et grecques « *Chalkidike et Alexandropolis* » combinent une double résistance au froid et au chaud avec une bonne croissance.

Les 20 peuplements classés en France sont regroupés au sein d'une seule région de provenance : PHA 700 même si il faudrait pouvoir valoriser le probable gradient de tolérance au froid existant au sein de l'aire de répartition française, dans les reboisements les plus septentrionaux.

La densité de semis est souvent très élevée, notamment après incendie. La forte mortalité qui intervient inéluctablement au cours de leur développement permet à la sélection génétique d'opérer efficacement lors des régénérations naturelles.

Pour la régénération naturelle, une densité de l'ordre de 30 semenciers par hectare, sélectionnés sur des critères de forme, constitue un pool génétique suffisant (mais est trop faible pour assurer une pluie de graines suffisante).

LES ESSENTIELS

Pichot, C. *Les bases génétiques de la gestion*. In *Le Pin d'Alep En France*, 2013

[Collectif. « Global, physiological and molecular responses to climatic stresses of three mediterranean conifers, INCO FORADAPT », 2011.](#)

[Bariteau, M. "Variabilité géographique et adaptation aux contraintes du milieu méditerranéen des pins de la section halepensis: résultats \(provisoires\) d'un essai en plantation comparative en France." Ann. For. Sci. 49 \(1992\).](#)



L'essence la plus adaptée aux conditions méditerranéennes

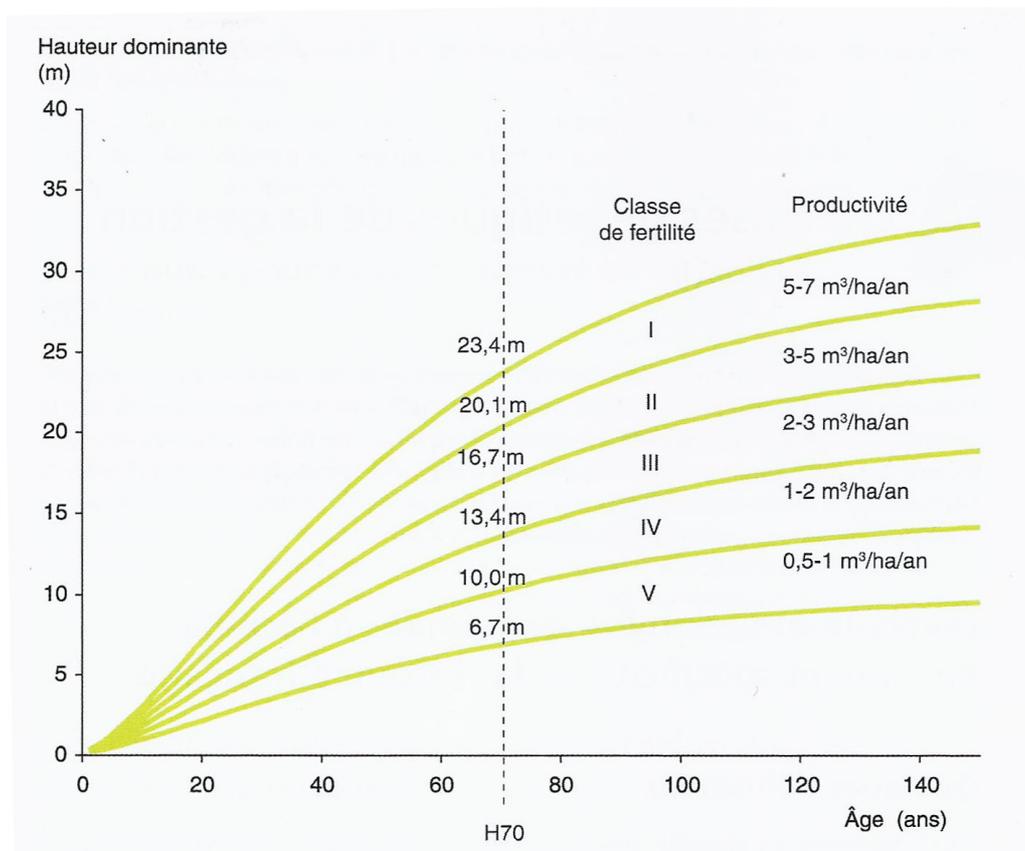
Les études sur l'autécologie du pin d'Alep sont assez nombreuses et se sont succédées depuis les années 1980. Il en résulte plusieurs indices de fertilité du pin d'Alep et divers outils d'évaluation de la productivité du pin d'Alep. La perspective des changements climatiques a également permis, depuis une vingtaine d'années, de comprendre les interactions entre la croissance du pin d'Alep et les facteurs climatiques.

INDICES DE FERTILITE

4 modèles de croissance ont été mis au point pour le pin d'Alep en France :

- par Pardé (1957) sur la forêt de Gémenos,
- par Abbas (1985) sur 56 placettes uniquement dans des forêts relevant du régime forestier,
- par Couhert et Duplat (1993) sur 31 sites uniquement dans les futaies régulières,
- par le Cemagref (Brochiero puis Rathgeber -2004-) sur 529 placettes sur l'ensemble de l'aire de répartition du pin d'Alep dans tous types de peuplements.

Du fait de la fiabilité scientifique de ce dernier modèle de croissance et de sa validité sur l'ensemble des peuplements de pin d'Alep de France, c'est ce modèle de croissance qu'il convient d'utiliser.



Relation entre la hauteur dominante et l'âge pour les différentes classes de fertilité en région méditerranéenne française, Ripert et al 2013



ELEMENTS D'AUTECOLOGIE

Facteurs ayant une influence sur la croissance du pin d'Alep :

- Altitude :** lorsqu'elle augmente, la pluviométrie augmente (favorable) et la température baisse (défavorable).
- Continentalité :** la distance au littoral traduisant un climat plus frais apparaît comme un facteur défavorable.
- Climat :** Les facteurs climatiques les plus déterminants sont les températures minimales et la pluviométrie (souvent citée comme défavorable à la production du pin d'Alep mais déterminante dans l'étude écologique menée par le Cemagref sur l'aire française du pin),
- Topographie :** les vallées, vallons, plaines et plateaux sont favorables.
- Pédogenèse :** les sols formés par altération de la roche sur place sont plutôt défavorables (sauf si leur profondeur est supérieure à 35 cm).
- Bilan hydrique :** le bilan hydrique stationnel, traduisant la disponibilité en eau du sol est l'un des principaux facteurs déterminants : plus le sol est profond et moins la charge en cailloux est forte, plus ce bilan est fort.
- Texture du sol :** le pin d'Alep préfère des textures équilibrées à dominante sableuse ou argileuse,
- Terrasses :** comme élément garantissant une plus grande profondeur du sol, c'est un indice favorable à la croissance du pin d'Alep.
- Substrat rocheux :** réputé comme préférant les marnes et calcaires marneux, le pin d'Alep présente en fait une meilleure croissance sur les roches calcaires.

Clé autécologique du pin d'Alep toute roche hors marne et argilite

domaine d'application : aire naturelle du pin d'Alep en région méditerranéenne française (PACA et LR)

matériau		micro-topographie transversée		Altitude		pluie annuelle		éléments grossiers		profondeur colluvion + altérite		intervalle de prédiction à 95% (X)	
ALTÉRITE + colluvion superficielle de 0 à 25 cm	< 35 cm	Convexe	< 450 m	< 700 mm	< 450 m	> 800 mm	> 70%	< 60 cm	< 70%	< 60 cm	1	11,6 m	9 à 14 X = 5m
COLLUVION > 25 cm	topographie générale	Concave ou plane	> 450 m	> 800 mm	> 800 mm	> 800 mm	> 70%	< 60 cm	< 70%	< 60 cm	2	12,2 m	9 à 15 X = 6m
		Pente, replat haut de pente sommet, croupe	< 800 mm	< 800 mm	< 800 mm	< 70%	< 60 cm	< 70%	< 60 cm	< 70%	3	13,3 m	11 à 16 X = 5m
		Plateau plaine, vallée vallon	> 800 mm	> 800 mm	> 800 mm	> 800 mm	> 70%	< 60 cm	< 70%	< 60 cm	4	14,7 m	12 à 17 X = 5m
		bas de pente	> 800 mm	> 800 mm	> 800 mm	> 800 mm	> 70%	< 60 cm	< 70%	< 60 cm	5	16,7 m	14 à 20 X = 6m
			< 800 mm	< 800 mm	< 800 mm	< 800 mm	< 70%	< 60 cm	< 70%	< 60 cm	6	12,7 m	10 à 16 X = 7m
			> 800 mm	> 800 mm	> 800 mm	> 800 mm	> 70%	< 60 cm	< 70%	< 60 cm	7	16,7 m	13 à 20 X = 7m
			< 800 mm	< 800 mm	< 800 mm	< 800 mm	< 70%	< 60 cm	< 70%	< 60 cm	8	13,5 m	10 à 17 X = 7m
			> 800 mm	> 800 mm	> 800 mm	> 800 mm	> 70%	< 60 cm	< 70%	< 60 cm	9	15,6 m	12 à 19 X = 7m
			< 60 cm	< 60 cm	< 60 cm	< 60 cm	< 60 cm	< 60 cm	< 60 cm	< 60 cm	10	17,9 m	12 à 18 X = 6m
			> 60 cm	> 60 cm	> 60 cm	> 60 cm	> 60 cm	> 60 cm	> 60 cm	> 60 cm	11	17,9 m	14 à 21 X = 7m

Facteurs de compensation			
	Modalités Favorables	Modalités Défavorables	
	+	-	
	++	--	
Climat			
pluie d'été	> 100	< 85	--
pluie (moy. annuelle)	> 800	< 700	--
altitude	200 à 300	> 450	--
		> 600	--
Relief			
topographie générale	vallon, vallée	pente et replat	--
	bas de pente	sommet, croupe	--
micro-topographie	transverse concave	transverse convexe	--
terrasses	présence		--
Surface du sol			
affleurements rocheux		> 10%	--
		> 30%	--
affleur. cailloux		> 30%	--
		> 30%	--
structure de la roche mère, si profondeur sol < 80cm			
pendage géologique	entrant et oblique	parallèle/conforme	--
diaclasses	nombreuses et/ou larges	pas ou peu, étroites	--
débit de l'altérite	toutes dimensions	graviers, cailloux	--
	pierres, blocs	plaquettes	--
Sol			
texture	SLA	SL, S ₁ , Sa, L, A	--
	La ou LA	S	--
profondeur totale	> 180	35 à 75	--
	90 à 180	< 35 cm	--
% d'éléments grossiers	1 à 20%	60 à 95%	--
	20 à 40%	> 95%	--

nombre + [7] Balance = (nombre +) - (nombre -) = 3 nombre - [4]

si balance = +1 à -1 : H = H70

sinon correction :

balance de 2 à 4 : H = H70 + (1/6 de X) balance de -2 à -4 : H = H70 - (1/6 de X)

balance de 5 à 7 : H = H70 + (1/3 de X) balance de -5 à -7 : H = H70 - (1/3 de X)

balance de ≥ 8 : H = H70 + (1/2 de X) balance de ≤ -8 : H = H70 - (1/2 de X)

X = intervalle de prédiction

résultat de l'exemple surligné en jaune dans la clé : balance = 7 - 4 = 3

balance de 2 à 4 : H = 16,7 + (1/6 x 6) = 17,7m

Clé de détermination de la fertilité des stations pour le pin d'Alep, Ripert et al 2013



IMPACT DES FACTEURS CLIMATIQUES

Les processus de croissance du pin d'Alep sont très liés aux facteurs climatiques.

- Le démarrage de la croissance est lié au nombre de gelées matinales et au nombre de jours où la température moyenne est inférieure à 4°C en janvier, février, voire mars. La sécheresse à cette période a aussi un rôle majeur sur le démarrage de la croissance. Celle-ci démarre en avril.
- Le ralentissement de la croissance est déterminé par les précipitations des mois d'avril et mai.
- Une température élevée aux mois de juin et juillet conduit à une mise en repos précoce.
- Intensité et durée de la sécheresse après juillet => ralentissement ou arrêt provisoire / définitif de l'activité en août
- Les premières précipitations après la sécheresse estivale déclenchent la reprise automnale.
- La croissance du pin d'Alep augmente avec les précipitations du mois d'octobre n-1, de mai et de juin ainsi qu'avec l'augmentation de la température moyenne de mars et avril.

La résistance au stress hydrique du pin d'Alep a été prouvée par mesure de tension à partir de laquelle 50% des vaisseaux ne conduisent plus la sève de l'arbre: les mesures sur le pin d'Alep, le pin sylvestre et le pin noir donnent respectivement -4,8; -2,9 et -2,6MPa (plus la mesure est négative, plus l'individu est résistant).

Quelle que soit l'altitude, la croissance du pin d'Alep s'est accélérée avec le changement climatique en cours.

Les changements globaux dont font partie les changements climatiques (mais aussi l'évolution de l'occupation des sols, du taux de CO₂, des dépôts azotés, ...) ont induit une augmentation de l'accroissement en hauteur de 4,6 cm/an au cours du XX^e siècle.

En se basant sur les modèles de prédiction du climat de Météo-France (modèle Arpège), on prédit une augmentation de l'accroissement du pin d'Alep jusqu'en 2030 environ avant une forte chute.

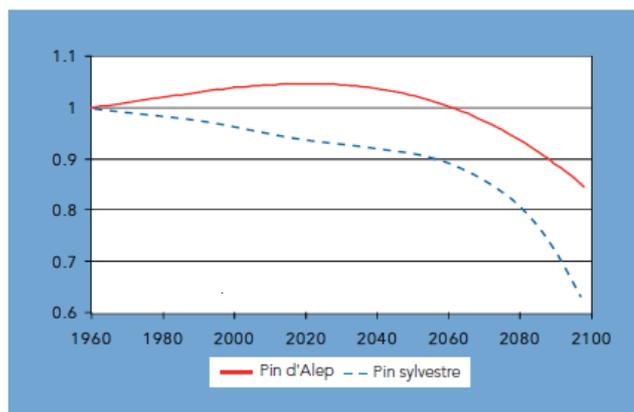


Fig. 5 : évolution simulée de la productivité du pin d'Alep et du pin sylvestre entre 1960 et 2100 ; exemple pour les placettes d'altitude moyenne pour chaque espèce

La base 1 est une référence relative par espèce en 1960. La simulation reproduit bien les tendances observées entre 1960 et 2000.

Mais le réchauffement climatique risque aussi d'avoir des effets négatifs sur le pin d'Alep: lorsque les sécheresses se répètent, la productivité du pin d'Alep diminue; les fins d'automne et débuts d'hiver doux favorisent les nouvelles pousses qui sont vulnérables aux gelées; et les bris de branches dus à la neige lourde sont augmentés, les rendant alors d'avantage vulnérables au scolyte. Mais ces dépérissements restent encore faibles et diffus pour le moment.

LES ESSENTIELS

Ripert, C., Vennetier, M., and Prevosto, B. (2013). Station et production. In *Le Pin d'Alep En France*, Nicault, A., and C. Rathgeber. "Observations sur la mise en place du cerne chez le pin d'alep (*pinus halepensis mill.*): confrontation entre les mesures de croissance radiale, de densité et les facteurs climatiques." *Ann. For. Sci.* 58, no. 7 (2001).

Vennetier, M. "Impact du changement climatique sur la productivité forestière et le déplacement d'une limite bioclimatique en région méditerranéenne française." *Ingenieries EAT 44* (2005).





Pour récolter du bois de qualité, il faut l'avoir cultivé

Les données bibliographiques sur la sylviculture du pin d'Alep peuvent être présentées comme étant de deux types. D'une part, l'on trouve des données descriptives de la sylviculture existante et de ses conséquences. D'autre part, l'on trouve des outils, préconisations et propositions d'itinéraires techniques correspondant rarement à une application réelle et peu souvent connectés avec les problématiques révélées par les premières.

SYLVICULTURE CONSTATEE

La sylviculture observée dans les peuplements de pin d'Alep, notamment en forêt privée, est généralement décrite comme frustrée ou rudimentaire. Elle se base sur la réalisation d'une ou deux éclaircies tardives, une coupe de régénération et une coupe finale pas toujours réalisée. Les auteurs considèrent généralement que les peuplements de moins de 9 mètres à 50 ans (classe V) ne font l'objet d'aucune sylviculture.

Les opérations réalisées (éclaircies et coupes de régénération) sont énergiques (dans un nombre important de cas, les éclaircies conduisent à des densités allant jusqu'à la moitié des densités préconisées par les normes sylvicoles).

En revanche, la qualité de réalisation des coupes est correcte., sans dégâts notables et la décomposition des rémanents se fait en 3 ans pour la moitié des situations.

Le caractère énergique de la sylviculture est expliqué par :

- une intervention trop tardive empêchant de produire des bois de qualité ;
- la difficulté de maintenir de beaux arbres ;
- l'impératif d'un volume minimum pour la commercialisation ;
- l'envie des propriétaires de remplacer le peuplement de pin par un peuplement de chêne.

On peut parler d'une sylviculture de récolte dans laquelle on n'améliore pas la qualité et on n'assure pas toujours la régénération.

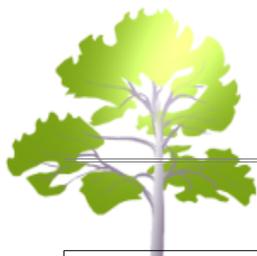
« Les propriétaires forestiers vendent leurs coupes à des exploitants sur des bases de prix largement dépendantes de la capacité de négociation du vendeur. Les exploitants coupent tout ce qu'ils savent commercialiser en épargnant quelques semenciers. Il s'agit donc d'une sélection à rebours qui ne permet pas de produire des arbres bien conformés : sylvicultures de profil bas qui cependant dans les peuplements âgés provoquent des trouées favorables à la régénération. » Bedel 1986

Et pourtant, une sylviculture du pin d'Alep a été mise en place en Provence dès la fin du XIX^e siècle, pour des peuplements à vocation de production de résine pour les pins et de production de bois de feu et de tanins pour le sous étage de chêne. Cette sylviculture était basée sur des éclaircies tous les 10 ans prélevant 7,5 m³/ha dans les pins.

ITINERAIRES TECHNIQUES

La plupart des auteurs, se basant sur le caractère héliophile du pin d'Alep (contredit par certaines données sur la régénération), considère que seule la structure régulière ou irrégulière par bouquets de quelques milliers d'ares à quelques hectares est adaptée à cette essence.

Un itinéraire de futaie jardinée est cependant décrit avec un diamètre d'exploitabilité fixé à 40 cm et un capital minimal de bois sur pied de 100 à 150 m³/ha. La rotation pourrait alors être de 5 à 8 ans avec des interventions culturelles dans la régénération à chaque passage en coupe.



	Pardé 1957	Neveux 1986	Cianco 1986	ONF – CRPF 1992	Couhert / Duplat 1993	Quesney /Amandier 2013	Chandioux 2014
Objectif		Objectifs mixtes (production, DFCI, autres)	Production de bois	Objectifs mixtes (production, DFCI, autres)	Production de bois d'œuvre	Production de bois d'industrie + caisserie	Production de bois d'œuvre
Age / diamètre d'exploitabilité	60 – 80 ans (35 -40 cm de diam.)	Diamètre 40 cm	Diamètre 32 cm	70 – 80 ans (35 à 40 cm de diamètre)	70 – 90 ans (35 à 40 cm de diamètre)	80 – 110 ans (30 à 50 cm de diamètre)	75 ans (30 à 45 cm de diamètre)
1 ^{ère} intervention	20 ans > 700 tiges/ha après dépressage	5 – 10 ans > cloisonnement au girobroyeur tous les 10 m + dépressage	Plantation à 2200 à 1600 plants/ha	Hauteur dominante = 1,5 à 2,5 m > cloisonnement tous les 5 m + dépressage 1100-1300 tiges/ha	Forte fertilité > Dépressage précoce	Hauteur dom. = 3 à 5 m > dépressage 1500-1300 tiges/ha	15 ans > cloisonnement et détournage de 200 tiges/ha
			12 ans > éclaircie systématique 1 ligne sur 2 ou 3	Diam. 10-12 cm > élagage + détournage de 180 à 240 tiges/ha			
Éclaircies	Tous les 15 ans 50 ans > densité de 310 tiges/ha	Cloisonnement	19 ans > éclaircie par le bas de 40% du nombre de tiges 27 ans > éclaircie par le bas de 40% du nombre de tiges	A partir de 30 ans > éclaircies tous les 15 ans de 25 m ³ /ha minimum	30 – 40 ans > éclaircie 45% du volume	Hauteur dom. = 12 m > éclaircie 46 à 53 % du nb. de tiges	30 ans > éclaircie mixte prélevant 50% du volume
		10 cm de diam. > 1600 tiges/ha					
		15-20 cm de diam. > 1100 – 620 tiges/ha, éclaircie par détournage					
		25 cm de diamètre > martelage par le haut			45 – 55 ans > éclaircie 42% du volume	Hauteur dom. = 14 à 16m > éclaircie 50% du nb. de tiges	45 ans > éclaircie mixte prélevant 50% du volume
				60 – 70 ans > éclaircie 36% du volume			
Coupe de régénération	80 ans > densité de 150 tiges/ha	60 ans > coupe rase par parquet de 0,5 à 4 hectares	40 ans > coupe laissant 50 à 60 semenciers/ha	70 – 80 ans > petites coupes rases successives	Forte fertilité : 75 ans > 200 tiges/ha Moyenne : 85 – 95 ans sur 150 tiges/ha	Hauteur dom. = 16 à 20 m > coupe conservant 100 à 150 t/ha (+ broyage ou travail du sol)	60 ans > coupe + griffonage sur 50 % de la surface
Coupe finale			3 – 5 ans après la coupe d'ensemencement		5 ans après	10 à 15 ans après plantation en cas d'échec	75 ans sur régénération acquise

Itinéraires sylvicoles préconisés en futaie régulière pure de pin d'Alep



Ces itinéraires sylvicoles s'appliquent surtout aux meilleures fertilités.

Dans les niveaux de fertilité en dessous de 9 mètres de hauteur à 50ans, la plupart des auteurs préconisent une seule éclaircie intermédiaire. Le minimum de prélèvement est fixé à 30 m³/ha à 60 ans avec une coupe finale à 100 ou 120 ans sur 400 tiges/ha ou encore à des récoltes opportunistes.

Le choix de conversion des peuplements de pin d'Alep en taillis de chêne, souvent appliqué par les propriétaires forestiers, est soutenu par certains auteurs, surtout pour des niveaux de fertilité du pin moyen (entre 9 et 14 mètres de hauteur à 50 ans), sans que soit fait référence au potentiel de production des chênes.

Mélanges

Dans les mélanges de pin d'Alep et taillis de chêne, les itinéraires sylvicoles sont plus simples et moins détaillés par les auteurs.

Ils distinguent deux situations selon que l'objectif est le taillis, auquel cas il faut récolter les pins sans toucher au taillis. Ou la conservation de la futaie sur taillis, auquel cas il faut couper le taillis en premier puis les pins quelques années plus tard.

Le modèle sylvicole de la futaie de pin d'Alep sur taillis consiste en une rotation des coupes de chêne de 20 à 30 ans et d'opérations de régénération de la futaie lors des coupes de taillis. L'âge d'exploitabilité du pin peut être fixé à 70 – 80 ans (pour limiter les risques de pourriture du cœur), ce qui correspond à un diamètre de 30 à 40 cm.

La qualité de la régénération des pins lors des coupes de taillis de chêne est très liée au calendrier des coupes :

Coupe de taillis	Coupe des pins
automne année n-1, hiver ou printemps n	sept à novembre année n

Le délai d'au moins un été (dissémination de 50 % des graines dans le mois d'août) entre la coupe de chêne et la coupe de pin permettant d'apporter les conditions d'éclaircissement propices à la germination tout en laissant de nombreux semenciers sur la parcelle.

Effets des dépressages

Le dépressage (à densité finale de 1600 tiges/ha) améliore la croissance en hauteur et diamètre. La parcelle, sa densité initiale et sa hauteur dominante influent cependant sur la réponse du peuplement, notamment sur la croissance en diamètre. Il permet d'éviter le ralentissement de la croissance constaté à 30 ans pour les arbres dominants et 25 ans pour les codominants. L'intervention dans le jeune âge (20 ans dans les meilleurs classes des fertilité) permet d'améliorer la qualité et atteindre plus rapidement les diamètres fin bout qui constituent la principale limite qualitative du pin d'Alep pour une valorisation en bois d'œuvre.

L'élagage sur branches vivantes de petite dimension permet en outre de limiter le pourrissement du cœur par *Phelinus pini*.

Effets des éclaircies

La réaction des arbres à l'éclaircie est généralement assez forte (jusqu'à 300% d'augmentation de l'accroissement en diamètre). Elle est d'autant plus forte que la coupe est forte. Mais ces réactions à l'éclaircie ne sont pas statistiquement corrélées à la densité du peuplement après coupe, à l'âge du peuplement ou à sa fertilité.

Les documents se penchant sur les qualités du bois de pin d'Alep s'accordent pour dire qu'une sylviculture dynamique est nécessaire pour améliorer la forme des arbres (rectitude), leur branchaison (présence de nœuds) et les tensions internes du bois.



OUTILS SYLVICOLES

Divers outils existent pour mettre au point et adapter la sylviculture du pin d'Alep. Il s'agit ici de les recenser. Ils ont généralement une validité à l'échelle nationale.

Modèle de production Couhert et Duplat (France)

Sont proposés : un modèle de croissance en hauteur (relativement fiable), un modèle de production en surface terrière et un tarif de cubage en complément pour exprimer les résultats en volume.

Modèle de production Montero (Espagne – utilisable en Languedoc Roussillon)

Sont proposés : des courbes de croissance en hauteur dominante en fonction de l'âge des peuplements, et des tables de production selon deux fertilités, après simulation d'éclaircies.

Modèle de production Castellani (Italie – utilisable dans les Alpes Maritimes)

Sont proposés : un modèle de croissance en hauteur distinguant 4 classes de croissance correspondant à une hauteur à 40 ans de 10, 13,5, 17 et 20,5 mètres, un modèle de production et un tarif de cubage en complément pour exprimer les résultats en volume (y compris de houpier).

Modèle de croissance CAPSIS – Pin d'Alep (France)

Capsis est un simulateur de croissance d'arbres en peuplements avec élaboration d'itinéraires sylvicoles. Un module « pin d'Alep » a été établi par l'INRA URFM à partir de données IFN pour des besoins de modélisation sur les opérations DFCI. Il s'agit d'un modèle « Arbre Indépendant des Distances ».

Fonction de croissance en hauteur:

$$H_{dom} = 0,30 + 2,005 * (H_{50} - 0,30) * [1 - \exp(-0,3662 * Age^{0,4410})]^{5,080}$$

H_{dom} la hauteur dominante du peuplement, Age l'âge du peuplement et H_{50} la hauteur du peuplement à 50 ans (fertilité)

Fonction de production totale en surface terrière:

$$G_{tot} = 2 * (H_{dom} - 3)^{1,2}$$

G_{tot} la surface terrière des peuplements

Tarif de cubage:

$$V = 0,41 * G * H_{dom}$$

Équation des courbes de croissance en hauteur dominante

$$H_{dom} = a * [1 - \exp(-0,203954 * t)]^{1/1,046295}$$

avec a_i le paramètre variable selon la fertilité représentée par la hauteur dominante i à 80ans.

$$a_{20} = 2,532460, a_{17} = 2,152591, a_{14} = 1,772722, a_{11} = 1,392853.$$

Tarif de cubage

$$V = -0,066252 + 0,000048 * D^2H$$

Relation allométrique:

$$N = 72143 * D^{-1,4981}$$

LES ESSENTIELS

Ripert, C., Vennetier, M., and Prevosto, B. (2013). Station et production. In *Le Pin d'Alep En France*.

Anonyme. "La sylviculture du pin blanc; le pin blanc: une espèce provençale en plein essor." *Forêt Méditerranéenne XIII, no. 3 (1992)*.

Couhert, B., and P. Duplat. "Le Pin D'alep Dans La Région PACA. Propositions Pour Une Sylviculture et Un Modèle de Production." *Bulletin Technique, no. 25 (1993)*.

Montero, G. "Tablas de Producción Para Pinus Halepensis Mill." *Cuad. SOCo Esp. Cien. For 10 (2000)*.

Cianco, O. "Sylviculture Du Pin D'alep." *Options Méditerranéennes 86, no. 1 (1986)*.



Laisse-t-on partir le pin d'Alep ?

Les données bibliographiques sur la régénération du pin d'Alep ont connu une certaine inflation dans les 20 dernières années, probablement liée au vieillissement progressif des peuplements de pin d'Alep français et à un constat assez net d'une problématique forte de régénération du pin d'Alep sous lui-même. Ces données forment un corpus complet qui attend une application concrète.



EFFICACITE DE LA REGENERATION

Les études réalisant des bilans de la **régénération naturelle** dans les peuplements en phase de régénération (densité < 150 t/ha) indiquent clairement et régulièrement que celle-ci est **insuffisante**.

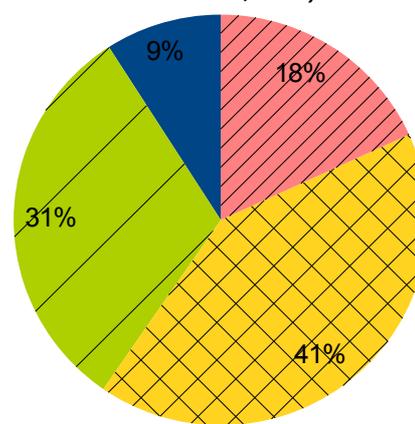
Dans les forêts privées, la régénération résineuse n'est acquise que dans 9 % des cas et incertaine dans 31 % des cas (recouvrement de 25 à 50 % de la surface), nulle mais remplacée par une régénération feuillue (taillis de chêne) dans 41 % des cas, nulle dans 18 % des cas.

Dans une étude menée par l'ONF, 60 % des parcelles sont régénérées en pin d'Alep et assureront donc la ressource du massif dans les 70 ans à venir.

Facteurs influençant la régénération de pins d'Alep

Ces facteurs ont été étudiés par divers auteurs dans des conditions diverses (peuplements purs, sur sous-étages divers, mélanges pins-chênes), les conclusions sont assez convergentes.

Type de régénération après coupe d'ensemencement, Guay 2002



- Régénération résineuse acquise
- Régénération résineuse incertaine
- Régénération uniquement feuillue
- Régénération nulle

Facteurs favorables :	Facteurs défavorables :
<ul style="list-style-type: none">- âge du peuplement > 70 ans- conservation de 120 tiges/ha à la coupe d'ensemencement- sol nu ou couvert par de la litière- couvert léger de chêne vert - 5 à 25 % - (régénération à l'abri des insulations, stimulation de la croissance verticale, et effet station favorable)- broyage des rémanents ou travaux touchant le sol- exposition sud	<ul style="list-style-type: none">- âge des arbres > 120 ans- moins de 50 semenciers/ha- graminées et rémanents couvrant le sol- couvert de chêne blanc (défavorise la croissance) ou toute concurrence du couvert arboré- parcelle en altitude ou en versant nord- bilan hydrique favorable (sols profonds peu pierreux, fonds de vallon)

Une étude a mis en lumière un effet allélopathique (toxicité des aiguilles et des racines de pins affectant la germination de certaines graines). Un macérât d'aiguilles inhibe la germination et la croissance des graines de pin, et ce de manière d'autant plus forte que ces aiguilles sont issues d'un peuplement jeune. Il est notable que certaines espèces du sous-étage (romarin, ciste, thym) ont également des propriétés allélopathiques. Cette autotoxicité du pin d'Alep peut expliquer partiellement les difficultés de régénération sous lui-même et correspondent à sa place dans la succession végétale.



METHODES DE REGENERATION ASSISTEE

La régénération assistée semble nécessaire dans les nombreux cas où la régénération naturelle apparaît comme impossible ou insuffisante.

Il s'agit de l'ensemble des cas où l'on désire conserver un couvert de pin d'Alep alors que l'on a une pinède assez dense (200-600 t/ha) sur un sous-étage de chêne incomplet ou une pinède peu dense (100-400 t/ha) à régénération fragile.

Le processus de régénération assistée consiste à ouvrir une fenêtre de régénération (offrir aux graines de pin les conditions de régénération idéales) après la réalisation d'une coupe d'ensemencement.

Pour la régénération naturelle, une densité de l'ordre de 30 semenciers par hectares, sélectionnés sur des critères de forme, constitue un pool génétique suffisant. Mais elle est trop faible pour assurer une pluie de graines suffisante. On considère qu'une surface terrière après coupe de 12 à 15 m²/ha (100 à 120 tiges/ha pour des arbres de 40 cm de diamètre) permet d'optimiser la production de graines et la mise en lumière.

La fenêtre de régénération est considérée comme ouverte quand le couvert en herbacé est inférieur à 30% et le couvert en sol nu inférieur à 10%. Ces conditions existent pendant 2 ans après les travaux de mise à nu du sol, qu'ils soient liés à la couverture du sol avant la coupe, à l'impact des travaux de coupe ou à des travaux de régénération assistée.

Pour des raisons de coût des travaux, c'est la régénération naturelle assistée qui est principalement étudiée. La plantation, bien que maîtrisée, est rarement envisagée. Parmi les techniques de régénération assistée, les plus efficaces sont le crochetage et le brûlage dirigé de forte intensité (brûlage des rémanents). Le broyage des rémanents sans autre intervention est peu favorable à une régénération dense. En l'absence de régénération assistée, la densité de plantules est inférieure à 0,5/m² à 6 ans, alors qu'une régénération assistée efficace permet d'obtenir 2 semis/m² à 6 ans.



Photo IRSTEA



● DIVERSIFICATION DU SOUS-ETAGE

La succession du pin d'Alep par d'autres essences, notamment feuillues a été étudié dans une grande partie du bassin méditerranéen (hors Maghreb), en lien avec son utilisation en reboisement dans un objectif de reconstitution du couvert forestier.

D'une manière générale, il apparaît qu'en zone semi-aride (< 350 mm/an) il n'y a ni régénération feuillue ni du pin d'Alep, que dans les zones sèches (400 à 500 mm) la régénération feuillue est rare mais le pin d'Alep se régénère sous lui même, dans les zones méso-méditerranéennes (500 à 600 mm) la régénération feuillue est correcte tandis que dans les zones humides (plus de 600 mm/an) elle finit par remplacer le pin d'Alep. Ces données, établies en Israël, mériteraient d'être étalonnées en France.

En conditions semi-arides, le pin a un effet négatif sur la germination et l'établissement d'espèces arbustives locales tandis que dans d'autres conditions écologiques, il aurait des effets plutôt bénéfiques. Cet effet négatif pourrait être dû à une facilitation du développement de *Brachypodium retusum* sous pin d'Alep du fait d'une exploitation de compartiments différents du sol par ces deux espèces. Le brachypode (baouco) aurait alors un effet négatif (compétition racinaire) sur les arbustes.

Les coupes d'amélioration provoquent le développement du sous-étage de chêne. Une étude française indique que dans les meilleures stations, le développement du chêne est important. Dans les stations moyennes, plus l'éclaircie est forte, plus le développement du chêne est important. Dans les stations médiocres, l'apparition du chêne est très aléatoire.

Dans certaines situations, on peut vouloir introduire des feuillus sous le couvert de pin, notamment pour enrichir une régénération naturelle et obtenir un peuplement mélangé résilient aux aléas.

Un semis de glands de chêne peut fonctionner à condition de les protéger efficacement d'une prédation assez intense, par exemple par un grillage corrodable autour des poquets. Ces poquets doivent être mis en place sur un sol mis à nu de manière à prévenir une trop forte densité d'herbacées induisant une forte concurrence hydrique (par brûlage dirigé intense, éventuellement par griffage).

Le taux de survie initiale est fortement conditionné à la résistance à la première sécheresse estivale.

Cette intervention est assez rapide et peu coûteuse même si elle a des résultats moins concluants que la mise en place de plants forestiers.

LES ESSENTIELS

Prevosto, B., Ripert, C., Quesney, T., and Amandier, L. *La régénération naturelle. In Le Pin d'Alep En France.*

[Amandier, L. "Suivi de la régénération naturelle ou assistée du pin d'Alep sur garrigue à chêne kermès." CRPF PACA, 1995.](#)

[D' Hanens, G. "Les peuplements mixtes de pin d'Alep et chênes en Provence, Comment pérenniser le mélange des essences ?" Forêt Méditerranéenne XIX, no. 3 \(1998\).](#)

[Anonyme. "Recherches sur la régénération du pin d'Alep en région PACA, Analyse de régénération dans les coupes anciennes." ONF / AFOCEL, 2005](#)

[Prevosto, B., and C. Ripert. "Régénération du pin d'Alep en Basse Provence. Impact des traitements du sol, de la végétation et des rémanents." Forêt Méditerranéenne XXX, no. 1 \(2009\).](#)

[Guay, B., and Amandier, L. \(2002\). Bilan des coupes de pin d'Alep réalisées en forêt privée de 1985 à 1998.](#)





Impact sur le milieu

Les données bibliographiques relatives à l'impact sur le milieu des peuplements de pin d'Alep et des opérations menées sur ces formations sont peu développées mais donnent des informations importantes.



BIODIVERSITE SOUS PIN D'ALEP

Avifaune

L'avifaune est assez diverse sous peuplement de pin d'Alep, notamment du fait de la strate arbustive complexe se développant sous son couvert. Cette strate dense et très diversifiée du point de vue spécifique produit une grande variété de fruits charnus et offre aux oiseaux une bonne protection contre le froid.

Un inventaire dans une pinède varoise a permis d'identifier 26 espèces d'oiseaux dont 15 espèces nicheuses. 4 espèces dominent ce recensement : la fauvette à tête noire (surtout présente fin février), le rouge gorge, le roitelet à triple bandeau (territoriaux présents d'octobre à mars), la fauvette mélanocéphale (sédentaire).



Fauvette mélanocéphale

Photo Andreas Trepte, www.photo-natur.de

Sols

Les effets supposés du pin sur le sol de surface, comme l'acidification, l'accumulation de matière organique, le blocage de cations et la diminution de l'activité biologique, sont dû à la richesse des litières de pin en composants terpéniques et phénoliques.

Les humus formés sous pin d'Alep sont toujours de type mull (humus riches en activité biologique, assurant une incorporation rapide de la litière et une certaine fertilité). Ces humus sont associés à une augmentation de la biodiversité sous les climats les plus chauds et les conditions trophiques les plus favorables.

Des vers consommateurs d'aiguilles sont observés sur les terrains où les résineux sont dans leur aire naturelle. En revanche, les inhibitions d'activité biologique des sols ont été observées dans les lieux où le reboisement a utilisé des espèces exotiques.

On observe également une meilleure activité des décomposeurs du sol dans les zones de mélange avec un sous-étage.

Même avec une faible croissance, le pin d'Alep (en reboisement en zone semi-aride) augmente les taux de matière organique sous son couvert.

Diversité / production

Une étude menée en Catalogne semble indiquer que la diversité spécifique de la strate arborée (le mélange du pin avec d'autres espèces) n'affecte pas la productivité du peuplement qui est clairement reliée aux paramètres environnementaux (type de substrat, climat) et au stade d'évolution du peuplement. Ce résultat est contraire à d'autres études sur le même sujet dans d'autres milieux forestiers européens (où le mélange augmente la productivité globale du peuplement).



● **IMPACT DES COUPES DE BOIS**

La coupe rase modifie ou détruit la structure de la canopée et induit des modifications quantitatives et qualitatives de la lumière, de la température et de l'humidité dans le sous-étage ainsi que des propriétés chimiques et microbiologiques du sol.

Suite à la coupe, la majorité du couvert végétal diminue dans un premier temps (dégâts d'exploitation), puis s'intensifie (résultat de la mise en lumière). Fort développement de *Quercus coccifera*, *Brachypodium retusum*, *Rosmarinus officinalis* et *Helianthemum marifolium*.

Une étude menée sur une coupe de pin d'Alep dans le Var réalisée au skidder et au porteur après abattage manuel, a montré qu'aucune ornière ou perturbation profonde du sol n'était provoquée mais le skidder provoquait des impacts superficiels plus forts que le porteur.

La mosaïque de zones non perturbées, de zones perturbées, de zones couvertes par des rémanents et de zones nues induit une grande diversité d'espèces végétales.

● **IMPACT DU DEBROUSSAILLEMENT**

Avifaune

L'enlèvement de la strate arbustive ôte à l'avifaune sa protection et l'essentiel de ses ressources alimentaires et fait chuter fortement la richesse faunistique des pinèdes à pin d'Alep.

Cycle des nutriments

Une étude menée en Grèce a exploré les effets potentiels sur la fertilité des sols, de l'exportation de biomasse (destruction ou exportation des rémanents et du sous-étage). C'est dans les éléments les plus gros (bois, grosses branches) que les concentrations de nutriments (N,P,K ;Mg) sont les plus fortes. Mais la biomasse est souvent concentrée dans le sous-étage et la litière. Dans les phases initiales et tardives de la vie du peuplement, l'accumulation de nutriments est nettement supérieure dans le sous-étage arbustif que dans les pins eux-mêmes.

Les auteurs concluent qu'une suppression régulière de la couverture du sol forestier (strates basses et humus) réduit l'occurrence du feu mais supprime également des quantités substantielles de nutriments de l'écosystème. Cependant, une réduction régulière de la biomasse du sous-étage par broyage (pas d'incinération ou d'exportation) et dispersion sur la surface du sol, ne fait pas que réduire le risque d'incendie mais permet également d'améliorer la fertilité du sol et les conditions d'évaporation superficielles.

Aucune autre étude ne semble avoir été menée sur la minéralomasse liée à la récolte des rémanents forestiers dans l'aire de répartition du pin d'Alep. (Achat 2014 in Landmann 2014).

LES ESSENTIELS

[Orsini, P., et M. Bouillot. « L'hivernage des passereaux dans une forêt de pin d'Alep ». Forêt méditerranéenne XVI, n 3 \(1995\).](#)

[Gondard, H., et F. Romane. « Conséquence d'une coupe rase ou d'une éclaircie sur la richesse spécifique et le mode de dissémination des espèces végétales dans les forêts de pin d'Alep du Var ». Forêt méditerranéenne XXV, n 1 \(2004\).](#)

[Alifragis, D. \(2001\). The effect of stand age on the accumulation of nutrients in the aboveground components of an Aleppo pine ecosystem. Forest Ecology and Management.](#)



Redonner de la valeur aux bois pour investir dans la forêt

Les données bibliographiques relatives à l'économie du pin d'Alep sont très rares et ciblent des points très spécifiques.

COÛTS D'EXPLOITATION

Une étude a comparé l'impact sur le rendement et les coûts d'exploitation mécanisée (abatteuse et porteur) de deux modalités d'éclaircie dans un peuplement de pin d'Alep. Une densité après coupe de 500 tiges/ha oblige à la création de cloisonnements d'exploitation dans le sens de la pente tandis qu'une densité après coupe de 250 tiges /ha permet une circulation dans le peuplement.

L'éclaircie plus faible réduit la productivité journalière de 11% pour l'abatteuse et de 14% pour le porteur.

Les coûts sont fortement impactés par :

- la pente (la progression de la machine abattage est aisée jusqu'à 25% de pente mais devient difficile à partir de 30%),
- la qualité de la desserte (dans le cas du chantier étudié, les distances de débardage sont courtes -environ 200 m- car le chantier de 6 hectares est bordé par une piste à camions, ce qui rend le débardage très efficace : 90m³/jour)
- l'amortissement des engins.

Prix de revient des bois bord de route (pour un chantier de 6 hectares bien desservi, faible volume unitaire, 40 à 50 m³/ha de prélèvement, en 2004)

Abattage : 15 €/tonne (11,25 € avec une machine amortie)

Débardage : 5,55 €/tonne

Frais généraux de l'entreprise : 3 à 4,5 €/tonne

Soit 19,8 à 21,4 €/tonne de coûts d'exploitation (sans marge)

Cette étude menée dans un seul type de peuplement de pin d'Alep est insuffisante pour couvrir les diverses situations de cette espèce, connue pour poser des problématiques d'abattage mécanisé quand les arbres vieillissent et développent de grosses branches latérales dans le houppier.

EVALUATION ECONOMIQUE DES ITINERAIRES SYLVICOLES

Une étude a évalué divers itinéraires sylvicoles applicables au pin d'Alep sur la base de coûts moyens et d'estimations de croissance basés sur les modèles de production existants. L'évaluation économique est basée sur le calcul d'indices utilisés en économie forestière : le critère de Faustmann (Bénéfice Actualisé en séquence infinie -BASI-) et le bénéfice moyen sur la révolution du peuplement.

Dans cette approche, la sylviculture habituellement pratiquée en forêt privée, qualifiée de « cueillette », donne un BASI de 386 €/ha à 75 ans. Mais cet itinéraire n'assurant pas la régénération à l'identique, est considéré comme non durable. Une version du même itinéraire intégrant une obligation de reboisement sur la moitié de la surface donne un BASI de -2760 €/ha.

L'application d'un itinéraire qualifié de sylviculture minimale durable, intégrant des travaux de régénération assistée donne un BASI de 702 €/ha à 75 ans dans les meilleures classes de fertilité. Ce BASI est négatif pour toutes les classes de fertilité en dessous de la classe II (Cemagref) ce qui témoigne d'une difficulté pour les propriétaires à maintenir une sylviculture durable dans un contexte économique équilibré.



Un itinéraire sylvicole de production de bois d'œuvre est proposé. Cet itinéraire donne un BASI de 1539 €/ha à 75 ans dans les meilleures classes de fertilité (soit un Taux Interne de Rentabilité de 3,9%). L'itinéraire a été optimisé pour sa rentabilité. La rotation doit être assez courte (75 ans) et les travaux initiaux doivent être le plus économiques possibles.

Ce scénario est rentable dans le cadre des hypothèses posées initialement : chantier de 10 hectares sur niveau de fertilité fort, chantier entièrement mécanisable, vente des bois ronds en bord de route, réalisation systématique d'un tri optimal et existence d'une filière valorisant à la fois les bois de palette et les bois de menuiserie.

Quelques données moyennes de coûts de prestation de travaux (HT) et de prix des bois (2014)

(hors maîtrise d'œuvre et coûts de gestion)

Coût d'abattage manuel : 15 €/m³

Coût d'abattage mécanisé : 12 €/m³

Coût de débardage au porteur : 7 €/m³

Dépressage : 1200 à 2000 €/ha

Élagage : 600 €/ha

Broyage en plein : 1200 à 1800 €/ha

Crochetage superficiel du sol : 700 à 1200 €/ha

Brûlage dirigé : 1000 à 1500 €/ha

Plantation : 5000 €/ha

Prix bois de trituration bord de route : 26 €/m³ (marché 2013 Bouches du Rhône)

Prix billons bois énergie bord de route : 29 €/m³ (CEEB 2012)

Prix palette bord de route : 44 €/m³

Une autre étude a approché l'intérêt économique des peuplements mixtes de pin d'Alep.

Sur la base d'une rotation de 40 ans du taillis (pour une production de 90 stères/ha en 40 ans) et d'une rotation du pin de 80 ans (pour 70 m³/ha), le revenu du propriétaire, sur 80 ans, est constitué à 70 % par le taillis et 30 % par la futaie de pin. (sur l'hypothèse, posée en 1998, d'un prix de vente de 50 F/st pour le chêne et 50 F/m³ pour le pin).



ECONOMIE ET MULTIFONCTIONNALITE

Une étude ciblant la question de la multifonctionnalité et s'appuyant sur l'exemple de la Charte Forestière de Territoire du Luberon a fait le constat suivant, synthétisant brillamment l'une des difficultés de l'économie forestière dans les territoires de l'aire du pin d'Alep en France :

« L'économie de la forêt en Luberon demeure exsangue, et la Charte ne semble pas modifier significativement la donne sur cette question. En comparaison des moyens qu'elle consacre à la lutte contre les incendies, la société investit finalement assez peu dans une gestion fine du territoire. »

« Les bénéficiaires de qualité forestière ne sont pas toujours là ou ne se présentent que rarement comme demandeurs de qualité forestière prêts à assumer les conséquences de leur demande, et notamment le financement de celle-ci » Bredif 2008

LES ESSENTIELS

Douheret, J. (1992). Pin d'alep : comment choisir une sylviculture ? Forêt Méditerranéenne XIII.

Peeters, J. (2004). Les interactions entre sylviculture et exploitation forestière dans les peuplements de pin d'alep

Chandioux, O., and Ricodeau, N. (2014). Le prix de mon arbre: vers une sylviculture de production du pin d'Alep. Forêt Méditerranéenne 35.

DES MILLIONS DE M³ DE BOIS D'ŒUVRE

Les données bibliographiques sur la ressource en pin d'Alep sont assez rares. Souvent abordées assez superficiellement en introduction de documents dont l'objet est différent. Cependant quelques documents font référence dans ce domaine et peuvent être complétés par les données de l'Inventaire Forestier National.

● Une surface en augmentation continue ... depuis 150 ans

Aire de répartition du pin d'Alep en France : **3,5 millions d'hectares**.

Le pin d'Alep est une **essence indigène** à la région méditerranéenne (présent au moins depuis la fin du dernier maximum glaciaire).

Extension en Provence due, à la fin du XIX^e siècle, à des plantations sur des terrains dégradés pour la production de résine. 125 000 hectares en 1908. Seconde vague d'extension du pin, en Provence comme en Languedoc, dans la

seconde moitié du XX^e siècle par ensemencement naturel de terres agricoles et terrasses abandonnées.

Surface couverte par le pin d'Alep en PACA, en 2003 : **223 000 hectares**, concentrés sur le Var (44%) et les Bouches du Rhône (30%).

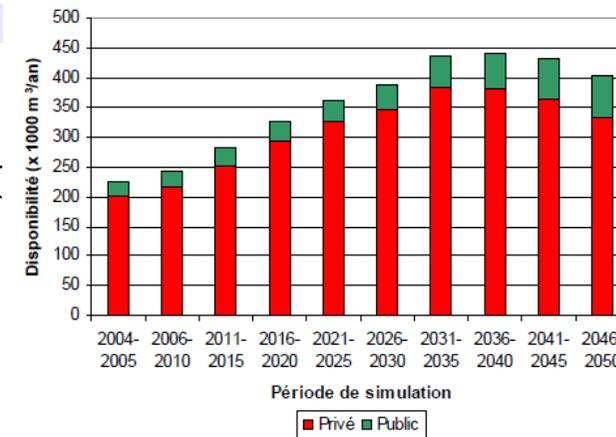
30 000 hectares en Languedoc Roussillon (vallée du Rhône, alentours de Montpellier et piémonts de la Montagne noire).

● Une ressource de 14 millions de m³ très peu récoltée

Production annuelle : **543 000 m³/an** en 2005 . Accroissement courant : **2,4 m³/ha/an**.

Production annuelle en 2035 : **731 000 m³/an**

Disponibilité (part de la production disponible à la récolte) : **281 000 m³/an (2011-2015) / 442 000 m³/an (2036-2040)**. Disponibilité située pour 90 % en forêt privée ; contrainte par des difficultés physiques d'exploitation (pour 15% du volume) et des difficultés structurelle liées au foncier (30% de la disponibilité dans des propriétés privées de moins de 4 ha) et à l'urbanisation.



Récolte calculée sur base des données IFN	Perte par incendie	Récolte selon Enquête annuelle de branche	Récolte retenue pour les études de disponibilité
204 000 m ³ /an (période 1977 – 2001)	> 24 800 m ³ /an (période 1986-2001)	127 000 m ³ /an (période 2006 - 2010)	50 à 100 000 m ³ /an (2006)

● Une ressource largement constituée de bois d'œuvre

Valorisation actuelle tournée vers la papeterie et le bois énergie. Mais la ressource sur pied présente suffisamment peu de défauts pour permettre un classement qualitatif orienté vers menuiserie, charpente, coffrage. (voir fiche [Classement des bois](#))

Part des bois de plus de 35 cm de diamètre (période 2036-2040) : 60 %

Classement des bois sur pied de pin d'Alep selon IFN 2015	PACA	Languedoc - Roussillon
Classe 1 (tranchage, déroulage, menuiserie fine)	2%	1%
Classe 2 (menuiserie, charpente, coffrage)	46%	32 %
Classe 3 (industrie)	52%	67%

BOIS D'OEUVRE DEPUIS 3000 ANS CHERCHE EMPLOI SÉRIEUX

Les données bibliographiques sur les usages du bois de pin d'Alep sont très disparates. Les données relatives aux usages anciens et usages actuels sont généralement peu sourcées et noyées dans des documents s'intéressant à d'autres domaines. En revanche, les documents relatifs aux usages à développer sont généralement très pointus et ciblent précisément leur sujet.

Un bois d'usage commun depuis 3000 ans

Traces d'usage du pin d'Alep depuis l'antiquité, surtout dans la construction navale (près d'un tiers des navires antiques retrouvés sur les côtes françaises contiennent du pin d'Alep). Cet usage dans la **construction navale** traditionnelle est encore existant sur les côtes méditerranéennes. L'utilisation en **charpente** dans l'habitat traditionnel est également évoqué mais les références sont rares. Aujourd'hui, les exemples d'utilisation du pin d'Alep en bois d'œuvre sont

diversifiées mais les quantités valorisées sont faibles. Seuls la **palette et l'emballage** offrent un débouché industriel au bois d'œuvre de pin d'Alep.

Au delà de son bois, la **résine** a également fait l'objet d'un usage important dans l'histoire (dès l'antiquité pour le calfatage des navires) avec un pic de production de « térébenthine de Provence » et de colophane, remplacé depuis les années 1950 par les produits de synthèse.



Bois de feu



Bois de mine, poteau



Charpente, Lamellé-collé



Palette, coffrage



Caisserie, emballage



Menuiserie ordinaire



Mobilier

D'usage assez aisé en sciage, le pin d'Alep est adapté aux usages nouveaux du bois

Les essais d'utilisation du pin d'Alep en sciage (palette, charpente, menuiserie extérieure, mobilier, ...) sont assez concordants : le pin d'Alep se travaille à peu près comme les autres pins, notamment le pin maritime. **Sciage** : facile (encrassement léger) ; **Rabotage** : bonne aptitude ; **Usinage** : normal ; **Ponçage** : encrassement ; **Traitement** : absorption lente ; **Assemblage** : vissage délicat, clouage variable ; **Collage** : sans

difficulté.

Les défauts du bois, liés au manque de **sylviculture** incitent à valoriser des grumes courtes après purge des défauts. Ces grumes courtes peuvent être valorisées par **déroulage**. Les caractéristiques du pin d'Alep vis à vis de cette technologie sont très proches de celles du pin maritime. Les **produits reconstitués** (LVL ; contre-collé, lamellé-collé) permettent de valoriser les grumes

courtes et de produire des produits de grande dimension pour la construction.

Deux marchés susceptibles de consommer des volumes significatifs s'ouvrent au pin d'Alep : l'**emballage léger** (palettes, caisserie, palettes recyclées) pour lequel un marché important existe en Provence, les produits pour la **construction** (charpente, structure, ouvertures, agencement) et les bardages intérieurs.

Des propriétés chimiques à ne pas oublier

La résine du pin d'Alep a connu de nombreux emplois médicaux (vulnérable, remède dermatologique,...). Ses propriétés **antioxydantes et anticholinestérase** (utilisées dans les médicaments contre la maladie d'Alzheimer ou des pesticides), **antifongiques et antibactériennes** peuvent remettre à l'ordre du jour l'usage de la résine composée notamment d' α -pinène, β -pinène, sabinène, myrcène...

Cette résine traditionnellement récoltée par gemmage peut être extraite du bois (voir **lassement des bois**)

► POUR BIEN VALORISER, IL FAUT BIEN TRIER

Les données bibliographiques sur les critères de classement du bois de pin d'Alep sont très ponctuelles et peu spécifiques à cette essence. Les informations relatives à ses singularités et « défauts » sont plus diffuses mais s'appuient rarement sur des données chiffrées et objectives. Seule la résine a fait l'objet de recherches spécifiques.

● Classer les bois est une première étape pour leur donner une valeur

Caractéristiques	Classes			
	A	B	C (emballage)	D (trituration)
Nœuds adhérents, sains	exclus	≤ 5 cm	≤ 7 cm	Sans limite
morts	exclus	≤ 4 cm	≤ 6 cm	Sans limite
pourris	exclus	exclus	≤ 4 cm	Sans limite
Bosse	exclue	permise	Permise	permise
Courbure	≤ 2 cm/m	≤ 2 cm/m	≤ 5 cm/m	Sans limite
Attaques d'insectes	exclues	exclues	Exclue	Permisses
Pourriture (champignons)	exclue	exclue	Tolérée si peu importante et localisée	Permise si gros diamètre
Inclinaison	exclue	Faible inclinaison tolérée (< 10 °)	< 20°	Sans limite

Critères de classement des bois résineux sur pied

	Choix 0 Ébénisterie, menuiserie fine	Choix 1 Menuiserie courante	Choix 2 Fermette, lamellé-collé	Choix 3 Ossature, charpente courante	Choix 4 Autres
Étude CIRAD sur 19 grumes	1,3%	10,8%	26,1%	34,4%	27,5%

Classement de sciages de pin d'Alep dans le cadre d'un essai

L'un des essais de sciage mené sur du pin d'Alep a montré que le rendement matière est de 62%. Ce rendement, très proche du rendement matière pour les bois résineux est très correct mais lié à des grumes courtes (de 200 à 230 cm).

● Cultiver les arbres permet de produire des bois de qualité

Les singularités (ou défauts) du pin d'Alep justifient pour de nombreux auteurs sa faible utilisation en sciage. Singularités remises en cause quand elles sont analysées une à une. **Port tourmenté** : courbures inférieures à celles du pin maritime, cœur excentré rare ; **Nodosité** : nœuds nombreux mais petits conduisant rarement à un déclassement qualitatif ; **Entre-écorce** ; **Richesse en résine** ; **Décroissance des bois un peu courts** ; **Altération des bois** (roulure, bois gras, pourriture du cœur -voir **pathogènes-** dont le risque s'accroît avec l'âge.

« 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. » Cette proximité du pin maritime induit, comme pour cette essence, de pratiquer une **sylviculture** permettant de réduire les singularité des bois.

● La résine est une valeur plutôt qu'un défaut

Les propriétés des composés chimiques particulièrement concentrés dans la résine du pin d'Alep (voir **Usages du bois**) peuvent être valorisées. La résine est habituellement considérée comme un inconvénient (encrassement des lames de scie, hétérogénéité des propriétés, ...). Elle est en fait concentrée au cœur de l'arbre (10 % de résine dans le 1/3 proche du cœur, 1,8 % dans les parties extérieures). Le **déroulage** ou le **sciage en périphérie** avec rotation par quart permettent de ne pas scier de bois résineux et de produire des noyaux résineux utilisables dans l'**industrie chimique** ou comme **combustible**. Enfin, le séchage à 70° durcit la résine (polymérisation). Le cœur résineux (ou bois gras) n'est pas lié à la teneur normale en résine du pin d'Alep mais à l'impact d'un **pathogène**.

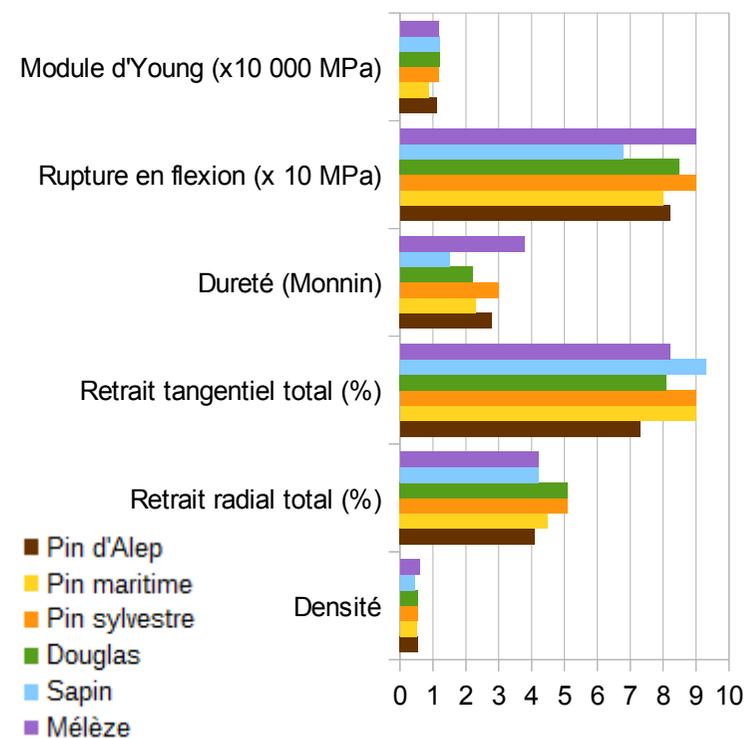
UN BOIS QUI N'A PLUS A FAIRE SES PREUVES

Les mesures réalisées sur la qualité technologique du bois de pin d'Alep sont relativement nombreuses mais souvent basées sur des échantillons de petite taille ou de faible représentativité. Ces études indiquent une forte variabilité des caractéristiques technologique du pin d'Alep mais signalent toujours sa proximité avec le pin maritime.

Très proche du pin maritime au regard de ses qualités technologiques, le pin d'Alep est un résineux très adapté aux usages en structure

	Mini	Maxi	Élément de compréhension
Retrait volumétrique	10 % <small>(Vignote – Pena 2014)</small>	16,4 % <small>(Vignote – Pena 2014)</small>	Le Pin d'Alep est une essence stable en comparaison aux autres résineux. Une bonne stabilité au retrait est favorable, cela signifie que lors du séchage le bois perdra moins en section. Il n'est donc pas nécessaire de scier avec des sur-cotes importantes, ce qui fait gagner du rendement matière.
Retrait radial total	3,7 % <small>(Gerard 2004)</small>	4,7 % <small>(Vignote – Pena 2014)</small>	
Retrait tangentiel total	7 % <small>(Gerard 2004)</small>	8,1 % <small>(Gerard 2004)</small>	
Dureté Monin	2,4 % <small>(Gerard 2004)</small>	3,1 % <small>(Gerard 2004)</small>	Une dureté est favorable à une utilisation en revêtement de sol, intérieur notamment.
Contrainte de rupture à la flexion	1043 kg/cm ² <small>(Thibault 1992)</small>	1383 kg/cm ² <small>(Polge 1992)</small>	Avec des contraintes de rupture relativement bonnes et notamment en flexion, le bois, pour une même section, est capable de supporter une charge plus importante. Cela peut permettre de diminuer les sections des pièces, pour obtenir une même résistance par rapport à d'autre essence. Cela peut en effet expliquer son usage ancien dans la construction navale.
Contrainte de rupture à la compression	464 kg/cm ² <small>(Polge 1992)</small>	532 kg/cm ² <small>(Polge 1992)</small>	
Densité	0,48 <small>(Vignote – Pena 2014)</small>	0,62 <small>(Vignote – Pena 2014)</small>	Les bois lourds ne sont pas bien appréciés des charpentiers qui doivent porter les pièces de bois. Les charpentes sont toujours dimensionnées pour supporter une charge : si initialement le poids propre du bois est élevé, les sections de la charpente devront être plus importantes.
Indice de feutrage	82		

Comparaison des propriétés technologiques du pin d'Alep avec d'autres essences résineuses



UN PIN A SURVEILLER COMME LE LAIT SUR LE FEU

Les données bibliographiques sur la prévention des incendies sont très rarement ciblées sur le pin d'Alep. Elles concernent généralement le territoire soumis aux incendies et les milieux occupés par le pin d'Alep. Le pin d'Alep offre donc un angle très particulier à la question de la prévention des incendies de forêt.

Une sensibilité au feu largement due au sous-étage se formant sous la pinède

Inflammabilité : ses aiguilles ont une inflammabilité comparable à celle des feuilles de chêne sempervirent, des bruyères, ajoncs et herbacée. C'est la structure des peuplements de pin d'Alep, à la densité faible et les houppiers clairs, qui favorise la propagation des feux. La forte continuité spatiale de la biomasse combustible induit une propension des peuplements de pin d'Alep à propager le feu verticalement. La litière de pin d'Alep est d'autant plus

inflammable que le peuplement est mêlé de chêne. C'est d'ailleurs les peuplements mélangés de pin et de chêne qui brûlent le plus, proportionnellement à leur surface, dans la période 1970 – 1990.

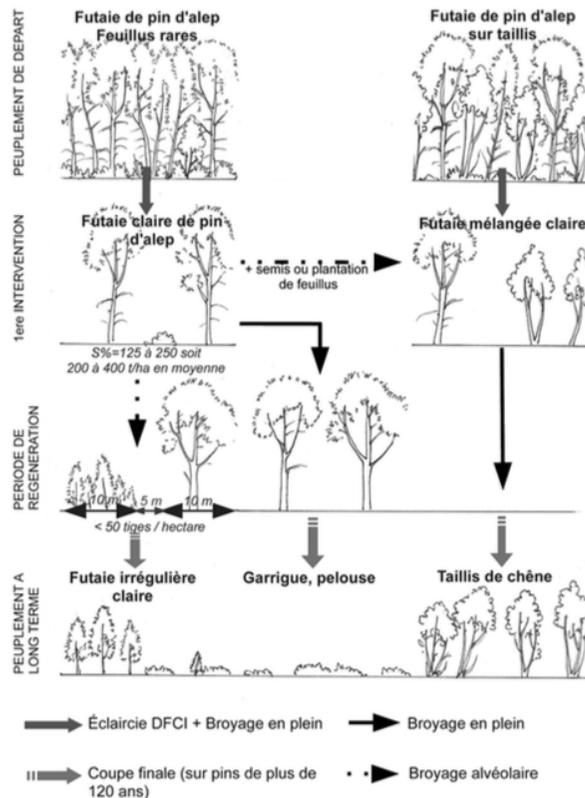
Enfin, les cônes de pin d'Alep ont un rôle important dans le phénomène des sautes de feu.

Diverses mesures permettent de réduire la sensibilité des peuplements à pin d'Alep au feu

L'**éclaircie DFCI** (Défense des Forêts Contre l'Incendie) consiste en – l'**élagage sur 3 mètres** (réduit la continuité verticale, mais un élagage sur 1/3 de la hauteur du peuplement n'est pas suffisant à empêcher la combustion du houppier) ; - le **débroussaillage** du sous-étage (permet de réduire cette continuité ainsi que la puissance du feu de surface) ; - l'**éclaircie** (met les houppiers à distance les uns des autres, réduit la continuité horizontale du combustible). La réduction du recouvrement d'arbres de 75 à 25 % permet de réduire significativement l'intensité du feu. Lors de l'application d'une sylviculture à enjeux DFCI, le risque est d'aller vers une formation végétale non forestière si le sous-étage feuillu n'est pas présent. Ces opérations d'éclaircie DFCI ont un coût assez élevé : de 800 à 2500 €/ha, intégrant la coupe des bois, l'élagage et le débroussaillage. Voir **-Impacts sur le milieu-**

L'**autoprotection** est définie comme la volonté de créer des peuplements résilients en cas d'incendie. Elle vise à permettre à des arbres de résister au passage du feu par un élagage, une mise à distance des arbres par bouquets d'une dizaine d'arbres et un débroussaillage. Cette mise en place de l'autoprotection est possible dans les pinèdes jeunes, denses et fermées ainsi que dans les pinèdes irrégulières claires et embroussaillées. Les situations de pinède mature fermée à sous-bois faible sont déjà les moins sensibles à l'incendie.

Le **brûlage dirigé** sous couvert de pin d'Alep a montré depuis des années son efficacité pour réduire le combustible bas tout en préservant les couches superficielles du sol et la strate arborée. Espèce résistante au passage du feu mais moins que le pin pignon et le pin maritime. La technique a montré son efficacité. Mise à l'épreuve du feu, des mortalités de 0 à 25 % ont été observées dans des feux passant entre 0 et 3 ans après le brûlage dirigé. Coût des chantiers (coûts de préparation, de matériel, de personnel) : 200 à 1200 €/ha.



D'ETONNANTES CAPACITES DE CICATRISATION

Les données bibliographiques sur le comportement du pin d'Alep après les incendies de forêts sont assez nombreuses dans la littérature scientifique, en France mais surtout en Espagne et en Grèce. Les espagnols ont particulièrement travaillé sur la réalisation de travaux permettant d'améliorer la résilience des peuplements de pin d'Alep.

Très adapté au feu, le pin d'Alep assure une régénération prolifique après l'incendie

Le pin d'Alep bénéficie d'un double système de régénération :

- production annuelle de graines prolifique,
- conservation d'un stock de graines de secours dans les cônes sérotineux.

La pluie de graines est très courte et très intense après un incendie : 60 à 75 % des graines sont disséminées pendant une période de 48h. En moyenne, il tombe 76 graines/m². Sans vent, plus de 90% des graines tombent dans un rayon de 10 m autour de l'arbre. L'essentiel de la pluie de graines ne dépasse pas 20

mètres. La première vague d'installation des semis a lieu après la première saison pluvieuse suivant le feu. L'installation des semis est complète en novembre-décembre. Dans certains cas, la régénération après incendie du pin d'Alep n'est pas assurée : pente (> 50%), pâturage. En cas de régénération naturelle faible, la plantation est la méthode de régénération la plus efficace. La croissance en hauteur des plants est bien meilleure que celles de semis.

Quelques semaines après le feu, la création de fascines permet de préserver les sols ... et la biodiversité

La constitution de fascines d'au moins 0,5 mètres de hauteur après incendie, à une densité d'environ 15-25 fascines/ha est habituellement pratiquée pour retenir le sol, mis à nu, très sensible à l'érosion. Elle est aussi favorable aux oiseaux nicheurs et à quelques migrateurs mais aussi au lapin de garenne. Il est montré que l'abattage d'urgence après feu favorise les oiseaux strictement inféodés aux milieux ouverts. Les différentes actions de gestion après feu

favorisent différentes espèces d'oiseaux hivernantes. La structure verticale de ces tas doit leur donner l'apparence de bosquets d'arbustes et attire les oiseaux dans les premiers stades de développement de la végétation en leur offrant des perchoirs et une ressource pour les insectivores. Ces fascines abritent la croissance des plantes à graines. Les oiseaux disséminateurs y consomment les graines récupérées dans des zones proches.

Quelques années après le feu, un dépressage permet d'améliorer la résilience de la pinède

L'objectif des travaux d'amélioration de la résilience consiste à rendre les pins d'Alep issus d'une régénération après incendie plus rapidement fertiles, de manière à ce que la répétition d'un incendie ne détruise pas le couvert arboré avant qu'il n'ait acquis la capacité de se reproduire.

Les travaux d'amélioration de la résilience sont des dépressages, des élagages, éventuellement des débroussailllements réalisés entre 5 et 10 ans après le feu. Ces dépressages très précoces peuvent également avoir un intérêt sylvicole (à valider) – voir [sylviculture](#)-

La réalisation d'un dépressage (1600 t/ha après coupe) augmente significativement le taux d'arbres en reproduction (2 à 6 fois plus de cônes dans les peuplements dépressés, entrée en production de cônes des arbres dès 5 à 7 ans -au lieu de 20 ans normalement-).



DES PATHOGENES PEU VIRULENTS MAIS MENACANT LA QUALITE DU BOIS

Les données bibliographiques sur les problèmes phytosanitaires du pin d'Alep sont assez limitées. Elles ciblent la description des champignons, insectes et éléments abiotiques, éventuellement les facteurs favorables à leur développement mais peu leur impact sur la production ou la conduite des peuplements.

Principaux pathogènes et ravageurs du pin d'Alep

Pourriture du cœur

Pathogène / Ravageurs	Impact	Écologie	Reconnaissance
Bris de neige	Peut provoquer de très fortes casses de branches, volis et chablis.	Risque concentré sur l'arrière pays.	
Gel	Le pin d'Alep est sensible au froid hivernal. Induit des réductions de l'accroissement, éventuellement mortalités.	Risque accentué sur l'arrière pays et en altitude.	Rougisement, dessèchement et chute des aiguilles observables dès -6°C.
Chancre des rameaux <i>Crumenulopsis sororia</i>	Deux foyers d'infection : Haut Var et Vallée du Rhône. Cause principale du déficit foliaire des houppiers du pin d'Alep, limite forte de la productivité du pin.	Favorisé par l'humidité et la chaleur. Plus sensibles sur les plateaux, les bas de pente et vallons.	Cicatrices au niveau des rameaux, rougisement d'aiguilles par bouquet et une chute des aiguilles, houppier à aspect clair.
<i>Spaeropsis sapinea</i>	Dessèchements de rameaux sur les peuplements affaiblis ou blessés.	Associé à des rouilles, fréquent dans les zones à bonne ressource en eau.	Rougisement des aiguilles par bouquets, brûlures et nécroses.
Rouille vésiculeuse des rameaux	Assez commune, sans grands dégâts.	Se développe à la faveur d'une forte humidité.	Vésicules blanches en fin d'hiver et au printemps.
Hylésine des pins <i>Tomicus destruens</i>	Dégâts importants (dépérissement, mortalité).	Menace dans les peuplements affaiblis par le gel, la sécheresse ou le passage du feu.	Pralines de résine sur les troncs, Pousses vertes ou rouge au sol. Galeries sous-corticales. Mort.
Ciccadelle des aiguilles <i>Haematoloma dorsata</i>	La perte foliaire constituant un facteur d'affaiblissement.	Les facteurs favorables non connus.	Le feuillage peut devenir complètement roux.
Processionnaire du pin <i>Thaumetopoea pityocampa</i>	Défoliations importantes, pas de mortalité induite.		Défoliation, chenilles, nids d'hivers blancs (cocons).

Le tramète des pins ou Polypore du pin (en latin : *Phelinus pini*, *Porodaedalea pini*, *Xanthochorus pini* ou encore *Trametes pini*) semble être un facteur important de la pourriture du cœur, fréquemment observé, cause d'importantes pertes financières par déclasserement des bois (voir **classement des bois**).

Carpophore en forme de console appliquée au tronc. Face inférieure ondulée, brun-ferrugineux, garnie de tubes irréguliers et enchevêtrés

Le mycélium du tramète se développe dans le bois de cœur de l'arbre.

C'est donc un parasite des blessures profondes (choc au pied, carres de gemmage) et des branches cassées (ou branches mortes cassées par l'élagage naturel).

Le bois de cœur attaqué fini par former une masse jaunâtre sans consistance. L'aubier réagit en périphérie par la production de résine, formant ce que l'on appelle le bois gras.

La prévention passe par la suppression des arbres atteints lors des éclaircies, par un raccourcissement des rotations pour ne pas conserver d'arbres trop âgés, sensibles. L'élagage des branches mortes est à proscrire Il est plutôt à mener sur des branches vivantes de petite dimension.



▶ ET SI, D'UNE GENERATION A L'AUTRE, ON AMELIORAIT LES QUALITES DU PIN ?

Les données bibliographiques sur la génétique sont assez internationales, portant sur l'essence à l'échelle du bassin méditerranéen. Les questions de sélection sur la qualité des bois ne sont quasiment pas abordées. L'amélioration n'est citée que comme piste pour résoudre les questions de rectitude et de branchaison du pin, mais manifestement peu expérimentée.

● Le pin d'Alep, un lien entre les côtes de la méditerranée

Le pin d'Alep connaît une faible diversité génétique sur l'ensemble de son aire dans le bassin méditerranéen. L'aire de répartition de l'espèce s'est fortement rétractée pendant la dernière glaciation. Trois groupes génétiques sont

distingués : en Grèce et Apulie, en Espagne, et le reste de la population. Cela indique la présence de deux centres de diffusion pour la recolonisation de cette espèce après la période post-glaciaire. L'autochtonie en Provence du pin d'Alep et ses

traces dans les pollens, charbons et tufs en Provence littorale, après la fin de la dernière période glaciaire correspond probablement à sa recolonisation après cette période froide peu favorable à cette espèce.

● Ne pas confondre le pin d'Alep et son cousin, le pin brutia

Le pin brutia et le pin d'Alep sont deux espèces distinctes occupant l'est de la méditerranée pour le premier, l'ouest pour le second. Ces deux espèces ont des aires de répartition assez différentes ce qui explique une partie des échecs de plantation du pin brutia en France. Le pin d'Alep présente son développement optimal dans des zones dont la

pluviométrie est comprise entre 350 et 700 mm. Le pin brutia se trouve, dans son aire d'origine, sous des climats plus humides et plus froids. Il est d'ailleurs, en plantation comparative, plus adapté au froid et moins adapté à la sécheresse. Le transfert de gènes entre pin d'Alep et pin brutia n'est possible qu'au travers du pollen de pin d'Alep.

Dans la zone de contact entre les aires de ces deux pins, des hybridations existent. Cette hybridation et l'absence de connaissances sur les qualités adaptatives de ces hybrides entre pin d'Alep et pin brutia incitent à limiter l'introduction d'une espèce dans les peuplements naturels de l'autre.

● Les provenances françaises de pin d'Alep sont les plus adaptées aux conditions locales

Les résultats obtenus sur les provenances de pin d'Alep invitent à n'utiliser que la ressource locale, qui garantit une très bonne tolérance au froid tout en offrant une bonne croissance même si la qualité des bois n'est pas optimale. Les provenances espagnoles « *Cohegin et Serra* » et grecques « *Chalkidike et Alexandropolis* » combinent une double résistance au froid et au chaud avec une bonne croissance.

existant au sein de l'aire de répartition française, dans le reboisements les plus septentrionaux.

génétique suffisant (mais est trop faible pour assurer une pluie de graines suffisante).

Les 20 peuplements classés en France sont regroupés au sein d'une seule région de provenance : PHA 700 même si il faudrait pouvoir valoriser le probable gradient de tolérance au froid

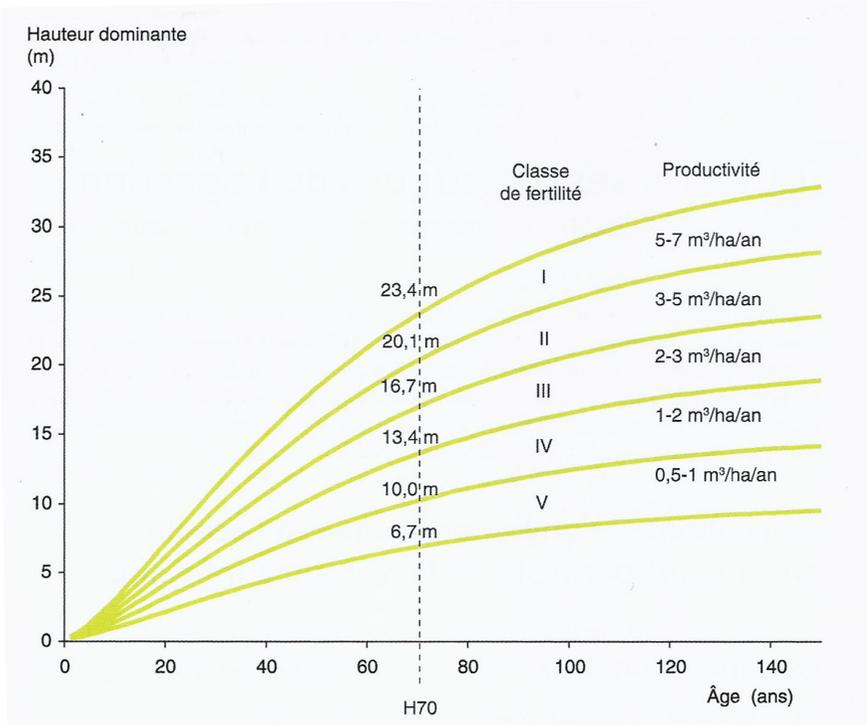
Aucun essai d'amélioration de la qualité des bois par une sélection génétique ou des croisements n'a été menée. Il reste au forestier à mener cette sélection lors de sa **ylviculture** et des opérations de régénération naturelle.

Pour la **régénération naturelle**, une densité de l'ordre de 30 semenciers par hectares, sélectionnés sur des critères de forme, constitue un pool

L'ESSENCE LA PLUS ADAPTEE AUX CONDITIONS MEDITERRANEENNES

Les études sur l'autécologie du pin d'Alep sont assez nombreuses et se sont succédées depuis les années 1980. Il en résulte plusieurs indices de fertilité du pin d'Alep et divers outils d'évaluation de la productivité du pin d'Alep. La perspective des changements climatiques a également permis, depuis une vingtaine d'années de comprendre les interactions entre la croissance du pin d'Alep et les facteurs climatiques.

Parmi plus de quatre modèles de croissance, celui mis au point par l'IRSTEA est le plus fiable sur l'ensemble de l'aire du pin d'Alep



Facteurs ayant une influence sur la croissance du pin d'Alep :

- Altitude :** lorsqu'elle augmente, la pluviométrie augmente (favorable) et la température baisse (défavorable).
- Continentalité :** la distance au littoral traduisant un climat plus frais apparaît comme un facteur défavorable.
- Climat :** les températures minimales et la pluviométrie sont déterminantes (pluviométrie souvent citée comme défavorable à la production du pin d'Alep mais influence positivement la croissance du pin)
- Topographie :** les vallées, vallons, plaines et plateaux sont favorables.
- Pédogenèse :** les sols formés par altération de la roche sur place sont plutôt défavorables (sauf si leur profondeur est supérieure à 35 cm).
- Bilan hydrique :** le bilan hydrique stationnel, traduisant la disponibilité en eau du sol, est l'un des principaux facteurs déterminants : plus le sol est profond et moins la charge en cailloux est forte, plus ce bilan est fort.
- Texture du sol :** le pin d'Alep préfère des textures équilibrées à des textures très déséquilibrées.
- Terrasses :** comme élément garantissant une plus grande profondeur du sol, c'est un indice favorable à la croissance du pin d'Alep.
- Substrat rocheux :** réputé comme préférant les marnes et calcaires marneux, le pin d'Alep présente en fait une meilleure croissance sur les roches calcaires.

Les changements globaux et l'évolution du climat contribuent à une augmentation de la productivité du pin d'Alep ... jusqu'à quand ?

Quelle que soit l'altitude, la croissance du pin d'Alep s'est accélérée au cours du XX^e siècle (augmentation de l'accroissement en hauteur de 4,6 cm/an) avec le changement climatique en cours. Les modèles prédisent une augmentation de l'accroissement du pin jusqu'en 2030. Mais le réchauffement climatique risque aussi d'avoir des effets négatifs sur le pin d'Alep. Lorsque les sécheresses se répètent, la productivité du pin d'Alep diminue. Les hivers doux induisent une plus grande sensibilité aux gelées et aux attaques phytosanitaires (voir **Pathogènes**). Mais ces dépérissements restent encore faibles et diffus pour le moment.

► POUR RECOLTER DU BOIS DE QUALITE, IL FAUT L'AVOIR CULTIVE

Les données bibliographiques sur la sylviculture du pin d'Alep peuvent être présentées comme étant de deux types. D'une part, l'on trouve des données descriptives de la sylviculture existante et de ses conséquences. D'autre part, l'on trouve des outils, préconisations et propositions d'itinéraires techniques correspondant rarement à une application réelle et peu souvent connectés avec les problématiques révélées par les premières.

● La sylviculture généralement appliquée est très frustrée malgré des itinéraires assez développés

Sylviculture constatée (de récolte)

La sylviculture observée dans les peuplements de pin d'Alep, notamment en forêt privée, est généralement décrite comme frustrée ou rudimentaire.

Pas d'intervention dans le jeune âge (20 ans), ce qui ne permet pas de sélectionner la qualité et empêche de concentrer la production sur les arbres de qualité. C'est le diamètre fin bout qui constitue souvent la principale limite qualitative du pin d'Alep (cf **Classement des bois**)

La réaction à l'**éclaircie** est très forte (jusqu'à 300 % d'augmentation de l'accroissement en diamètre) ; d'autant plus forte que la coupe est forte. Les éclaircies réalisées sont souvent plus fortes que la norme théorique.

Les coupes de régénération, souvent assez fortes, provoquent **rarement une régénération suffisante**.

Intervention trop tardive > empêche de produire des bois de qualité.

Éclaircies énergiques (violentes) > difficulté de maintenir de beaux arbres, volume minimum commercialisation.

Régénération faible > volonté des propriétaires de remplacer le pin par le chêne.

5 à
20
ans

30 à
60
ans

60 à
80
ans

Sylvicultures préconisées

Au moins 7 propositions d'itinéraires sylvicoles ont été faites en France. Elles sont rarement appliquées (du moins en forêt privée) et ne sont cohérentes que sur le choix de la futaie régulière.

Dépressage : 700 à 1500 tiges/ha (parfois après cloisonnement (tous les 5 à 20 mètres), éventuellement détourage et/ou élagage (sur branche verte, permet de limiter le **pourrissement du cœur**)

Éclaircies tous les 15 ans à partir de 30 ou 40 ans, prélevant 35 à 50 % du volume avec un minimum de 25 à 50 m³/ha. Consignes de prélèvement par le bas ou par le haut selon les auteurs.

Coupe de régénération selon deux modes : coupe laissant 50 à 200 tiges/ha OU coupes rases successives par parquets de 0,5 à 4 hectares. La préconisation de travail du sol pour la **régénération** assistée est récente.

Coupe finale 3 à 15 ans après la coupe d'ensemencement. Diamètre- objectif de 30 à 50 cm.

Les documents se penchant sur les qualités du bois de pin d'Alep s'accordent pour dire qu'une sylviculture dynamique est nécessaire pour améliorer la forme des arbres, leur branchaison et la qualité du bois.

Dans les mélanges pin – chêne

Itinéraires plus simples : rotation des coupes de chêne de 20 à 30 ans, régénération de la futaie lors des coupes de taillis. Age d'exploitabilité du pin : 70 – 80 ans (diamètre de 30 à 40 cm).

Le délai d'au moins un été (dissémination de 50 % des graines dans le mois d'août) entre la coupe de chêne et la coupe de pins.

Futaie jardinée

Souvent considérée par les auteurs comme inadaptée au pin d'Alep.

Un itinéraire de futaie jardinée est cependant décrit avec un diamètre d'exploitabilité fixé à 40 cm et un capital minimal de bois sur pied de 100 à 150 m³/ha. La rotation pourrait alors être de 5 à 8 ans avec des interventions culturelles dans la régénération à chaque passage en coupe.

Quelques outils

Couhert, B., and P. Duplat. "Le pin d'Alep dans la région PACA. Propositions pour une sylviculture et un modèle de production." *Bulletin Technique*, no. 25 (1993).

Montero, G. "Tablas de producción para pinus halepensis mill." *Cuad. SOCo Esp. Cien. For* 10 (2000).

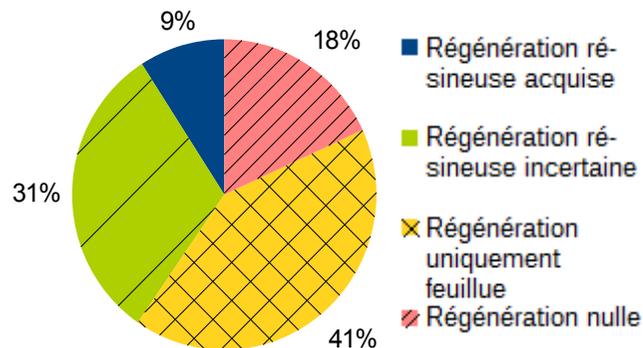
CAPSIS – Pin d'Alep :

<http://capsis.cirad.fr/capsis/presentation>

EST IL DURABLE DE NE PAS RENOUVELLER UNE RESSOURCE EN BOIS ?

Les données bibliographiques sur la régénération du pin d'Alep ont connu une certaine inflation dans les 20 dernières années, probablement liée au vieillissement progressif des peuplements de pin d'Alep français et à un constat assez net d'une problématique forte de régénération du pin d'Alep sous lui-même. Ces données forment un corpus complet qui attend une application concrète.

La régénération dans les peuplements de pin d'Alep est très souvent insuffisante



Qualification de la régénération dans les coupes d'ensemencement en forêt privée

Facteurs favorables :	Facteurs défavorables :
<ul style="list-style-type: none"> - âge du peuplement > 70 ans - conservation de 120 tiges/ha - sol nu ou couvert par de la litière - couvert léger de chêne vert -5 à 25%-(régénération à l'abri des insulations, stimulation de la croissance verticale, et effet station favorable) - broyage des rémanents ou travaux ayant touché le sol - exposition sud 	<ul style="list-style-type: none"> - age des arbres > 120 ans - moins de 50 semenciers/ha - graminées et rémanents couvrant le sol - couvert de chêne blanc (défavorise la croissance) ou toute concurrence du couvert arboré - parcelle en altitude ou en versant nord - bilan hydrique favorable (sols profonds peu pierreux, fonds de vallons)

Pour maintenir le pin d'Alep, il faut pratiquer des travaux de régénération dans un certain nombre de cas

Quand pratiquer la régénération assistée ?

> Si l'on veut conserver un couvert de pin d'Alep alors que l'on a :

- une pinède assez dense (200-600 t/ha) sur un sous-étage de chêne incomplet
- une pinède peu dense (100-400 t/ha) à régénération fragile.

Le processus de régénération assistée consiste à ouvrir une fenêtre de régénération (offrir aux graines de pin les conditions de régénération idéales) après la réalisation d'une coupe d'ensemencement. 30 semenciers par hectare sélectionnés sur des critères de forme suffisent à constituer un pool génétique suffisant. Mais elle est trop faible pour assurer une pluie de graines suffisante. Une surface terrière après coupe de 12 à 15 m²/ha (100 à 120 tiges/ha) permet d'optimiser la pluie de graines et la lumière au sol. La fenêtre de régénération est considérée comme ouverte quand le couvert en herbacées est inférieur à 30% et le couvert en sol nu inférieur à 10%.

Ces conditions existent pendant 2 ans après les travaux de mise à nu du sol (liées à la couverture du sol avant la coupe, aux travaux de coupe ou à des travaux de régénération assistée).

Techniques de régénération assistée : en dehors de la plantation, généralement considérée comme coûteuse (mais efficace), les plus efficaces sont le crochetage et le brûlage dirigé de forte intensité (brûlage des rémanents).
Absence de régénération assistée : densité de plantules < à 0,5/m² à 6 ans.
Régénération assistée efficace : 2 semis/m² à 6 ans.

Si l'on veut introduire des feuillus sous le couvert de pins (pour enrichir une régénération naturelle et améliorer la résilience), un semis de glands de chêne peut fonctionner à condition de les protéger de la prédation, par exemple par un grillage corrodable autour des poquets. Intervention assez rapide et peu coûteuse. Résultats moins concluants que la mise en place de plants forestiers.

▶ IMPACT SUR LE MILIEU

Les données bibliographiques relatives à l'impact sur le milieu des peuplements de pin d'Alep et des opérations menées sur ces formations sont peu développées mais donnent des informations importantes.

● **La biodiversité des pinèdes à pin d'Alep dépend largement du sous-étage qu'elles abritent**

Avifaune

Avifaune assez diverse sous peuplement de pin d'Alep du fait d'une **strate arbustive** complexe se développant sous son couvert. Une strate arbustive dense et très diversifiée en espèces produit une grande variété de fruits charnus et offre aux oiseaux une bonne protection contre le froid.



Fauvette mélanocéphale

Photo Andreas Trepte, www.photo-natur.de

Sols

Les humus formés sous pin d'Alep sont toujours de type mull (humus riches en activité biologique, assurant une incorporation rapide de la litière et une certaine fertilité). Ces **humus** sont **associés à une augmentation de la biodiversité** sous les climats les plus chauds et les conditions trophiques les plus favorables. On observe également une meilleure activité des décomposeurs du sol dans les zones de mélange avec un sous-étage.

● **Les travaux peuvent avoir des impacts, rarement définitifs**

La coupe rase modifie ou détruit la structure de la canopée et induit des modifications quantitatives et qualitatives de la lumière, de la température et de l'humidité dans le sous-étage ainsi que des propriétés chimiques et microbiologiques du sol. Suite à la coupe, la majorité du couvert végétal diminue dans un premier temps, puis s'intensifie. La mosaïque de zones non perturbées, de zones perturbées, de zones couvertes par des rémanents et de zones nues induit une grande diversité d'espèces végétales.

Les débroussailllements (menés dans le cadre de la **prévention des incendies**) ont finalement un impact plus notable que la coupe de bois. L'enlèvement de la strate arbustive ôte à l'avifaune sa protection et l'essentiel de ses ressources alimentaires et fait chuter fortement la richesse faunistique des pinèdes à pin d'Alep. Une étude menée en Grèce a exploré les effets

potentiels sur la fertilité des sols de l'exportation de biomasse (destruction ou exportation des rémanents et du sous-étage). C'est dans les éléments les plus gros (bois, grosses branches) que les concentrations de nutriments (N,P,K;Mg) sont les plus fortes. Mais la biomasse est souvent concentrée dans le sous-étage et la litière. Dans les phases initiales et tardives de la vie du peuplement, l'accumulation de nutriments est nettement supérieure dans le sous-étage arbustif que dans les pins eux-même.

Une suppression régulière de la couverture du sol forestier (strates basses et humus) réduit l'occurrence du feu mais supprime également des quantités substantielles de nutriments de l'écosystème.

Aucune autre étude ne semble avoir été menée sur la minéralomasse liée à la récolte des rémanents forestiers dans l'aire de répartition du pin d'Alep.



REDONNER DE LA VALEUR AU BOIS POUR INVESTIR DANS LA FORÊT

Les données bibliographiques relatives à l'économie du pin d'Alep sont très rares et ciblent des points très spécifiques.

Coûts d'exploitation

Les coûts d'exploitation (mécanisée) sont fortement impactés par :

- la pente (la progression de la machine d'abattage est aisée jusqu'à 25% de pente mais devient difficile à partir de 30%) ;
- la qualité de la desserte (dans le cas du chantier étudié, les distances de débardage sont courtes -environ 200 m- car le chantier de 6 hectares est bordé par une piste à camion s,ce qui rend le débardage très efficace : 90m3/jour) ;
- l'amortissement des engins.

Prix de revient des bois bord de route (pour un chantier de 6 hectares bien desservi, faible volume unitaire, 40 à 50 m³/ha de prélèvement, en 2004)

Abattage : 11,25 €/tonne (15 avec une machine en cours d'amortissement)

Débardage : 5,55 €/tonne

Frais généraux de l'entreprise : 3 à 4,5 €/tonne

Soit 19,8 à 21,4 €/tonne de coût d'exploitation (sans marge)

La sylviculture durable du pin d'Alep est difficilement rentable, sauf à faire l'effort de produire du bois d'œuvre de qualité

L'approche économique permet d'évaluer la rentabilité de la sylviculture.

La sylviculture habituellement pratiquée en forêt privée, qualifiée de « cueillette », donne un BASI de 386 €/ha à 75 ans. Mais cet itinéraire n'assurant pas la régénération à l'identique, est considéré comme non durable. Une version du même itinéraire intégrant une obligation de reboisement sur la moitié de la surface donne un BASI de -2760 €/ha.

Un itinéraire de sylviculture minimale durable (avec travaux de régénération assistée) donne un BASI de 702 €/ha à 75 ans dans les meilleures classes de fertilité. Ce BASI est négatif pour toutes les classes de fertilité en dessous de la moyenne, ce qui témoigne d'une difficulté pour les propriétaires à maintenir une sylviculture durable dans un contexte économique équilibré.

Un itinéraire de production de bois d'œuvre donne un BASI de 1539 €/ha à 75 ans dans les meilleures classes de fertilité (TIR de 3,9%). Ce scénario est rentable si : chantier de 10 hectares sur niveau de fertilité fort, chantier entièrement mécanisable, vente des bois ronds en bord de route, réalisation systématique d'un tri optimal et existence d'une filière valorisant à la fois les bois de palette et les bois de menuiserie (cf [Usages du bois](#))

Quelques données moyennes de coûts de travaux et de prix des bois (2014)

Coût d'abattage manuel : 15 €/m³

Coût d'abattage mécanisé : 12 €/m³

Coût de débardage au porteur : 7 €/m³

Dépressage : 1200 à 2000 €/ha

Élagage : 600 €/ha

Broyage en plein : 1200 à 1800 €/ha

Crochetage superficiel du sol : 700 à 1200 €/ha

Brûlage dirigé : 1000 à 1500 €/ha

Plantation : 5000 €/ha

Prix bois de trituration bord de route : 26 €/m³ (marché 2013 Bouches du Rhône)

Prix billons bois énergie bord de route : 29 €/m³ (CEEB 2012)

Prix palette bord de route : 44 €/m³