

ROBERT NASI
CIRAD-Forêt

YVES EHRHART
CIRAD-Forêt

LE SANTAL

UN PARFUM DE PROSPÉRITÉ

2^È PARTIE - LES PLANTATIONS

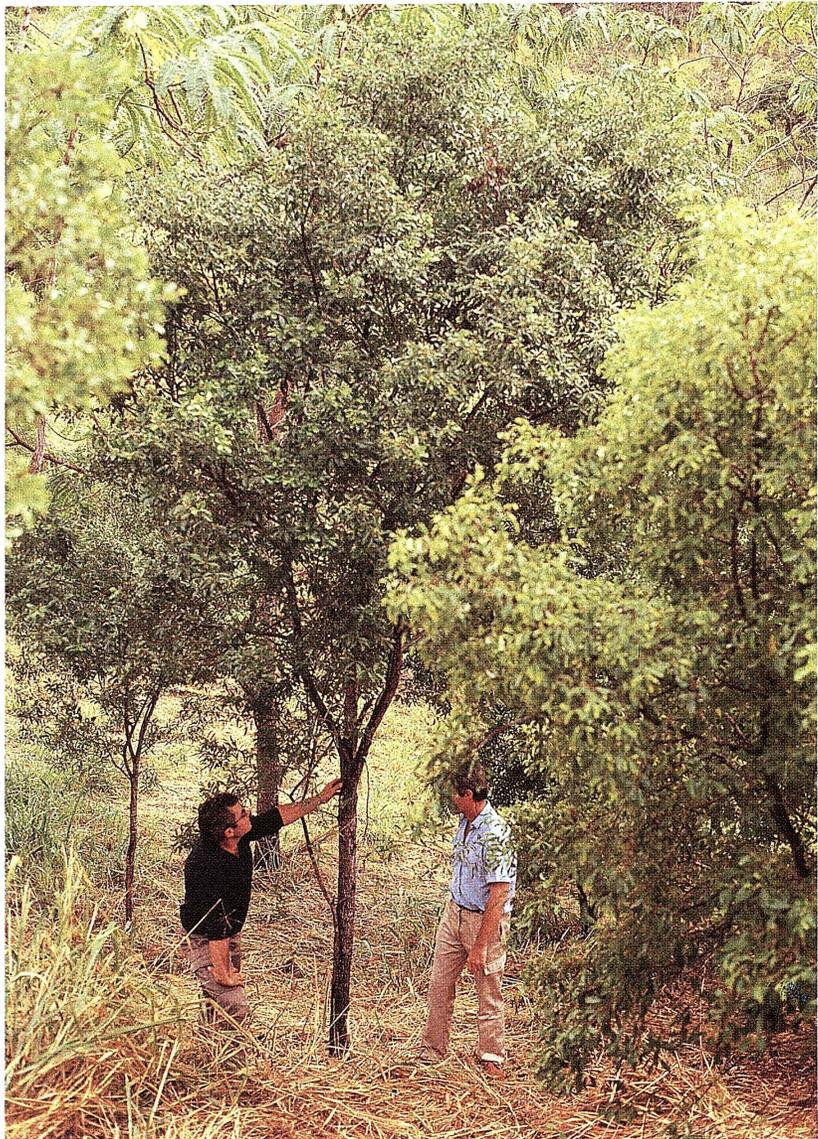


▲ Feuillage et inflorescence de *Santalum album* : verger à graines de Païta (Nouvelle-Calédonie).

Foliage and inflorescence of *Santalum album*. Seed orchard of Païta (New Caledonia).

Plantation de *Santalum austrocaledonicum* avec *Sesbania grandiflora*, âgée de 5 ans 1/2. Saint-Léon, Païta (Nouvelle-Calédonie).

5 1/2-year-old *Santalum austrocaledonicum* plantation with *Sesbania grandiflora*. Saint-Léon, Païta (New Caledonia).



Seconde partie d'un article consacré au Santal (cf. B.F.T. n° 247), ce texte étudie les deux espèces* actuellement utilisées en plantation, qui font l'objet d'une exploitation commerciale : *Santalum album* et *S. austrocaledonicum*.

RÉCOLTE ET CONSERVATION DES GRAINES

S. album et *S. austrocaledonicum* fructifient régulièrement et en abondance. Il est donc possible, sauf accident (cyclone, feu), de récolter annuellement de grosses quantités de fruits. La fructification est étalée sur une assez longue période de l'année avec un ou deux pics de production pendant lesquels la très grande majorité des individus portent des fruits mûrs. Cet étalement de la fructification et la nécessité de récolter les fruits sur l'arbre impliquent de fréquentes visites dans les peuplements naturels si l'on ne veut pas omettre systématiquement certains génotypes précoces ou tardifs lors des récoltes.

Les fruits doivent être récoltés mûrs, leur couleur varie alors de pourpre à presque noir, mais avec un mésocarpe encore souple et hydraté. En effet, les fruits trop mûrs, dont le mésocarpe est desséché, doivent être rejetés lors des récoltes car il n'est pas possible de les dépulper de manière satisfaisante et ils présentent souvent des dommages au niveau de l'embryon.

Le dépulpage doit être effectué le plus rapidement possible après la récolte : il est extrêmement important d'éviter tout échauffement ou toute fermentation du fruit. Cette opération peut être effectuée manuellement en frottant les fruits sur un tamis à mailles assez fines ou, plus efficacement, à l'aide d'une dépulpeuse mécanique du type de celles utilisées pour le café.

Immédiatement après dépulpage, la viabilité des graines est estimée par un test de flottaison, les graines fraîches viables ne flottant pas. Ce test doit être effectué sur des graines fraîches car, après un séchage même léger, toutes les graines flottent et il n'est plus possible de faire

un tri efficace. Les graines viables sont alors soigneusement lavées afin d'être débarrassées des dernières traces de mésocarpe, puis elles sont trempées pendant quelques minutes dans une solution de fongicide.

Après quelques jours de séchage dans un lieu frais et aéré, les graines peuvent être stockées en chambre froide à 3-4 °C. Si un stockage en chambre froide n'est pas possible, il faudra prévoir un séchage à l'air plus long (une dizaine de jours) avant conservation à la température ambiante dans un endroit frais (pièce climatisée par exemple).

Si les opérations précédentes sont menées avec suffisamment de soin et de célérité, les graines peuvent être conservées pendant deux à trois ans en chambre froide avec des taux de germination supérieurs à 60 % (NASI, 1994a). Il convient toutefois qu'elles puissent respirer : la conservation en conteneur étanche doit donc être évitée. La conservation peut être prolongée au-delà de trois ans, mais alors les taux de germination deviennent faibles (< 15 %). Cependant, compte tenu de l'abondance et de la fréquence des fructifications, il ne paraît pas nécessaire d'envisager des stockages pour des durées supérieures à deux ans.

TECHNIQUES DE PRODUCTION DE PLANTS

GERMINATION

La germination des graines de santal (en particulier de *S. austrocaledonicum*) a longtemps posé des problèmes du fait de l'existence simultanée d'une dormance et d'une inhibition tégumentaire (NASI, 1994a). Le CIRAD-Forêt (CHAUVIN, 1988) a développé depuis quelques années une technique efficace et bien adaptée aux conditions néo-calédoniennes. Bien que les graines

* Bien que *S. spicatum* soit la principale espèce exploitée pour le bois (environ 2 000 t/an), elle n'a pas été retenue par l'Australie comme une espèce de plantation prometteuse du fait de sa croissance très lente et de sa faible teneur en huile essentielle.

fraîches de *S. album* germent assez bien sans traitement particulier, l'application à cette espèce des techniques développées pour *S. austrocaledonicum* permet une levée plus rapide, plus homogène et un meilleur taux de germination.

Les graines doivent être scarifiées du côté opposé à l'embryon, à l'aide d'un greffoir ou d'une pince à dénuder. Cette scarification permet une imbibition plus rapide de la graine et supprime l'inhibition tégumentaire. En ce qui concerne la dormance, celle-ci est totalement levée si les graines ont séjourné plus de six mois en chambre froide. Si ce n'est pas le cas, le trempage de la graine scarifiée dans une solution de gibbérellines (GA3) permet de lever la dormance et d'accélérer la germination. Ce traitement étant onéreux et n'influant pas sur le taux de germination, il ne doit être envisagé que dans l'optique d'une production « industrielle » de grandes quantités de plants.

Après scarification, les graines sont mises à tremper pendant 12 h dans de l'eau froide (en Nouvelle-Calédonie, les bacs de trempage sont directement placés dans un réfrigérateur). Il faut s'assurer, lors de cette opération, que la graine ne soit pas totalement recouverte d'eau afin que le métabolisme respiratoire puisse s'effectuer convenablement.

Les graines scarifiées et imbibées sont alors placées dans un germeoir rempli de perlite ou de sable grossier ; un excellent drainage est indispensable. Le facteur le plus critique pour cette phase de la germination est le maintien d'une température élevée (28 à 32 °C) et constante tout au long du processus. Les températures inférieures à 28 °C ne permettent pas d'atteindre des taux convenables de germination et les températures supérieures à 32 °C sont létales. Pour compenser le drainage, un arrosage fréquent

est nécessaire, la graine devant être maintenue humide en permanence.

Après apparition de la radicule, la graine germée est transférée dans un autre bac contenant de la tourbe et du sable à parts égales. Il n'est alors plus nécessaire d'avoir une température aussi constante. Ce transfert est rendu nécessaire par l'atmosphère chaude et humide maintenue à la surface du bac de germination qui rend les risques d'attaques fongiques élevés.

L'application de cette technique permet d'obtenir entre 60 et 80 % de germination en 25-30 jours pour les deux espèces *S. album* et *S. austrocaledonicum*. Bien que nous ne disposions pas de véritable expérimentation, il est probable que cette technique peut être appliquée avec succès aux autres représentants de la section *Eusantalum* du genre *S. lanceolatum*, *S. macgregorii*, *S. yasi*

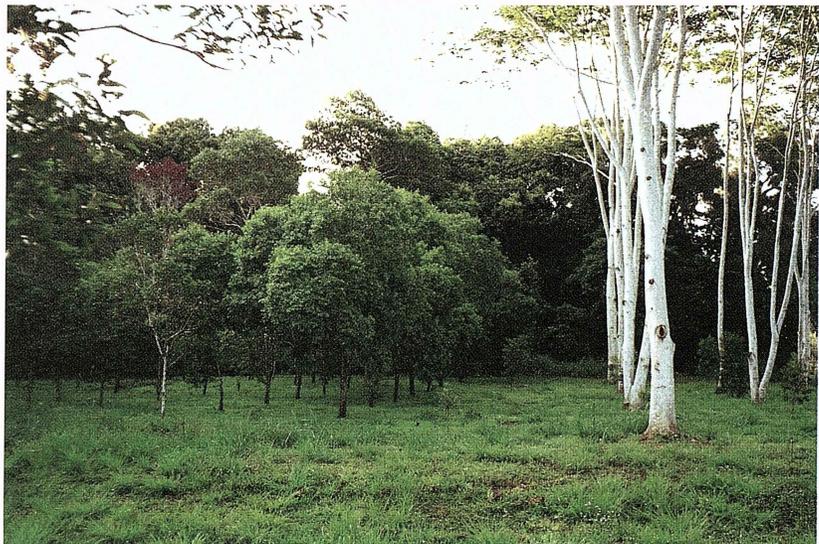
dont les fleurs et les fruits sont très semblables.

ELEVAGE DU PLANT

Choix de l'hôte primaire (hôte de pépinière)

Les santals étant des parasites racinaires obligés, il faut absolument leur associer une plante-hôte dès le plus jeune âge (un plant ne peut survivre au-delà d'un ou deux ans sans plante-hôte). Grâce aux nombreuses études menées en Australie, Inde, Indonésie et Nouvelle-Calédonie, nous savons que :

- le parasitisme n'est pas spécifique : les santals acceptent une très large gamme d'hôtes ;
- il n'est pas souhaitable, à cause des problèmes de compétition pour l'espace, d'associer un arbre ou un arbuste aux plants de santal dès le stade pépinière ;



Influence du parasitisme dans une plantation pure de *Santalum austrocaledonicum*. La taille et le diamètre des santals décroissent très fortement lorsque l'on s'éloigne des *Paraserienthes falcata* qui servent de plantes-hôtes. Verger à graines de Païta (Nouvelle-Calédonie).

Influence of parasitism in a pure Santalum austrocaledonicum plantation. The size and diameter of the sandalwoods decrease greatly as the distance from the Paraserienthes falcata host plants increases. Seed orchard of Païta (New Caledonia).

- parmi les hôtes herbacés ou sous-ligneux, certains permettent une meilleure croissance que d'autres.

Les hôtes primaires les plus performants parmi les nombreuses espèces herbacées ou suffrutescentes testées (CHAUVIN, 1988 ; FOX *et al.*, 1994c ; RADO MIJAC, 1994a) sont :

- *Alternanthera spp.*,
Amaranthacée en C₄
- *Desmanthus virgatus*,
Mimosacée fixatrice d'azote
- *Crotalaria juncea*,
Mimosacée fixatrice d'azote

Alternanthera spp. doit être le choix préférentiel si le substrat d'élevage du plant n'est pas excessivement drainant. Le genre est pantropical, les espèces étant soit des mauvaises herbes, soit des plantes ornementales. Elles se caractérisent toutes par un port plus ou moins prostré et par une aptitude déconcertante au bouturage, deux qualités bien évidemment essentielles pour l'hôte primaire. Par contre, si le substrat est trop drainant (sable grossier par exemple), on lui préférera *Desmanthus virgatus* qui ne présente cependant pas les mêmes avantages. Il s'agit d'un sous-arbrisseau à port érigé qui doit être reproduit par graines.

Substrat et conteneur d'élevage

Le système racinaire du santal se caractérise par un fort développement des racines latérales superficielles dont le rôle est la prospection et la fixation au système racinaire de l'hôte. Un bon développement de ces racines est essentiel à la mise en place d'une liaison hôte-parasite satisfaisante. Les conteneurs de diamètre trop faible (< 10 cm) sont donc à proscrire car ils ne permettent pas un développement harmonieux du système racinaire hôte-parasite.

L'ajout de sable grossier (35-40 %) dans la terre de pépinière permet, surtout si celle-ci possède beaucoup d'éléments fins (argiles ou limons), d'augmenter de façon très significative la croissance du plant (QUEMIN, 1988 ; FOX et BARRETT, 1994c). Il convient toutefois de garder à l'esprit que la texture du substrat d'élevage peut avoir une influence non négligeable sur la croissance de l'hôte primaire et donc du plant de santal.

Un apport d'engrais complet (NPK 13-13-21) à raison de 5 kg/m³ est recommandé en Nouvelle-Calédonie où les sols sont globalement très pauvres. Dans tous les cas, l'apport d'engrais semble bénéfique car le santal est capable d'en utiliser directement une partie, le reste lui bénéficiant indirectement par l'intermédiaire d'une meilleure croissance de l'hôte.

Conduite et entretien des plants

Après repiquage, les plants doivent être gardés sous ombrière pendant deux à trois semaines pour atténuer le choc physiologique et permettre l'établissement de la liaison santal-hôte primaire. Par la suite, l'ombrière n'est plus nécessaire et les plants peuvent être élevés en plein soleil.

Le développement de l'hôte primaire doit être soigneusement contrôlé : il doit être à la fois vigoureux afin d'assurer une bonne croissance du santal associé, et non envahissant afin de ne pas entrer en concurrence avec celui-ci. Cette gestion est assez facile avec l'*Alternanthera* qui se taille sans problème et reste prostré ; elle est probablement plus complexe avec *Desmanthus virgatus* pour l'usage duquel nous avons moins de recul.

Le plant de santal est bon à planter lorsqu'il atteint 30 cm, ce qui dans les conditions de Nouvelle-Calédonie correspond à 5-6 mois d'élevage.

TECHNIQUES DE PLANTATION

A l'heure actuelle, les seules véritables expériences de plantation « en grandeur nature » sont (ou ont été) conduites en Australie et en Inde (*S. album*), en Nouvelle-Calédonie et au Vanuatu (*S. austrocaledonicum*). Les premières tentatives (en Inde) ont souvent été des échecs car on ne percevait pas alors aussi clairement qu'aujourd'hui la nature de parasite du santal. Il n'existe pas, à notre connaissance, de véritable synthèse des techniques testées en Inde, aussi le texte qui suit est-il largement inspiré des techniques développées en Australie (RADO MIJAC, 1994a et b) et en Nouvelle-Calédonie (NASI, 1994c).

CHOIX DU SITE DE PLANTATION

Compte tenu de la très large gamme de pluviosités et de sols dans laquelle les santals sont capables de pousser de façon satisfaisante, le choix d'un site de plantation n'est pas vraiment une opération « critique ». Il convient simplement de garder à l'esprit que *S. album* et *S. austrocaledonicum* sont des espèces thermophiles qui demandent une température minimale moyenne du mois le plus froid supérieure à 15 °C, un ensoleillement important et ne supportent pas l'hydromorphie. Cette sensibilité à l'hydromorphie, que l'on retrouve d'ailleurs chez toutes les espèces de santal, est très probablement liée à des problèmes de bon fonctionnement du système racinaire complexe hôte-parasite en milieu asphyxiant ou réducteur.

Par ailleurs, bien que les espèces considérées tolèrent des pluviosités faibles, un minimum de 700 mm/an doit être assuré si l'on envisage d'obtenir un peuplement raisonnablement productif. A l'inverse, une pluviométrie trop forte doit être évitée

car bien qu'elle favorise la croissance du santal, il semble que les individus ayant poussé dans des conditions de forte pluviosité possèdent des taux nettement plus faibles d'huile essentielle dans leur bois.

Les deux espèces sont aussi très recherchées par une large gamme d'herbivores (depuis les lapins jusqu'aux gros ruminants) et sont très sensibles aux feux.

Un site de plantation adéquat devra donc :

- être situé dans une zone climatique telle que la pluviosité soit comprise entre 700 et 2 000 mm/an et les températures minimales moyennes supérieures à 15 °C ;
- posséder un sol bien drainé ; la composition chimique important

assez peu (bien qu'un pH légèrement alcalin puisse être bénéfique) ;

- être protégé des herbivores et du feu.

En ce qui concerne la préparation du terrain, la nécessité d'assurer un bon développement des racines latérales pour l'établissement des liaisons hôte-parasite implique que toute opération améliorant la structure et la pénétration des racines est bénéfique. La préparation sera toutefois différente selon le type de plantation envisagé et les caractéristiques édaphiques.

La plantation de santal peut se faire en plein découvert (il faudra alors installer à la fois le santal et l'hôte) ou sous couvert de la végétation existante qui, dans la très grande majorité des cas, sera une formation secondaire arbustive.

PLANTATION SOUS « COUVERT »

Si l'on envisage de planter sous la végétation existante, la préparation ne pourra bien sûr pas se faire en plein. Ce type de plantation peut être envisagé suivant une approche « industrielle » – on utilisera alors des layons – ou suivant une approche « agroforestière », les santals étant installés dans les jardins temporaires. Dans les deux cas, il convient de supprimer une partie de la végétation existante afin de donner de la place et de la lumière aux santals et aux cultures.

En ce qui concerne l'approche par layons, l'ouverture peut se faire à l'aide de scies à chaînes ou manuellement, les débris étant laissés sur place. L'ouverture doit être effectuée de façon à garantir une quantité de lumière suffisante et à permettre une association rapide hôte-parasite. Le santal étant assez sensible aux effets desséchants du vent, les layons de plantation seront orientés perpendiculairement aux vents dominants. Cette orientation des layons revêt

une certaine importance dans le contexte Pacifique insulaire où il n'est pas rare d'avoir des alizés établis à 40-60 km/h durant des mois.

Dans le cas d'une plantation associée à des cultures itinérantes, une technique efficace a été développée par les Kunié (habitants de l'Île des Pins). Elle nécessite la disponibilité de larges quantités de fruits, ce qui est le cas à l'Île des Pins. Après avoir préparé son terrain en coupant les ligneux bas (arbustes et petits arbres) puis en démembrant et annelant les plus gros arbres, le paysan éparpille une grande quantité de fruits mûrs de santal dans les débris auxquels il met ensuite le feu. Il cultive alors son champ pendant un à trois ans, en préservant soigneusement les jeunes semis de santal. Par la suite lorsque le champ est abandonné, un recrû arbustif s'installe autour des pieds de santal dont le système racinaire, déjà en place, est prêt à parasiter les espèces du recrû. Les résultats obtenus sont remarquables et, dans certaines zones, on obtient des formations secondaires possédant plusieurs centaines de pieds de santal à l'hectare.

PLANTATION EN PLEIN DÉCOUVERT

Préparation

Dans une plantation en plein découvert, par définition, le terrain est dépourvu de ligneux que ceux-ci aient été détruits directement pour la plantation ou pour toute autre raison. La préparation du sol peut donc se faire « en plein » avec des moyens mécanisés. Si le sol possède une structure lourde ou des horizons indurés, un sous-solage croisé à 60 cm est absolument nécessaire afin d'augmenter la porosité. Ce sous-solage sera suivi d'un labour croisé avec une charrue à disque. Ce labour est d'ailleurs presque toujours nécessaire, sauf peut-être sur les sols dérivés de limons volca-



Plantation de *Santalum austrocaledonicum* avec *Acacia spirorbis*, âgée de 2 ans 1/2. Arbre fortement abîmé par les cerfs.

2 1/2-year-old *Santalum austrocaledonicum* plantation with *Acacia spirorbis*. Tree highly damaged by deer.

niques (andosols et assimilés) sur lesquels il faut éviter d'intervenir de façon trop brutale.

Choix de l'hôte secondaire (hôte au champ)

L'hôte primaire associé au plant de santal au stade pépinière n'est plus suffisant après plantation, soit qu'il ne survive pas assez longtemps (*Alternanthera*) ou que son développement ne permette pas une nutrition suffisante du santal (*Desmanthus virgatus*). Il est donc nécessaire, dans le cas de plantations en plein découvert, d'installer un hôte secondaire dont la taille, le métabolisme et la durée de vie permettront l'établissement d'une liaison hôte-parasite satisfaisante pour la durée de rotation retenue.

D'après l'ensemble des recherches menées sur les différentes espèces de santal, il est clair que le parasitisme n'est pas spécifique mais aussi que certains hôtes favorisent plus

que d'autres le développement du parasite. Comme, par ailleurs, l'installation lors de la plantation d'une plante-hôte, en plus du santal, implique un surcoût non négligeable, l'espèce retenue devrait idéalement avoir une valeur intrinsèque en plus de sa capacité à promouvoir la croissance du parasite. Un assez bon exemple est l'association *S. austrocaledonicum*-*Acacia spirorbis*, l'hôte pouvant servir dans ce cas comme bois de chauffe pour l'approvisionnement d'une petite unité de distillation. En Australie (RADOMIJAC, 1994b), dans les plantations installées en périmètre irrigué, on se dirige plutôt vers la recherche d'un hôte secondaire producteur de bois d'œuvre (*Dalbergia sissoo*, *Pterocarpus indicus* par exemple).

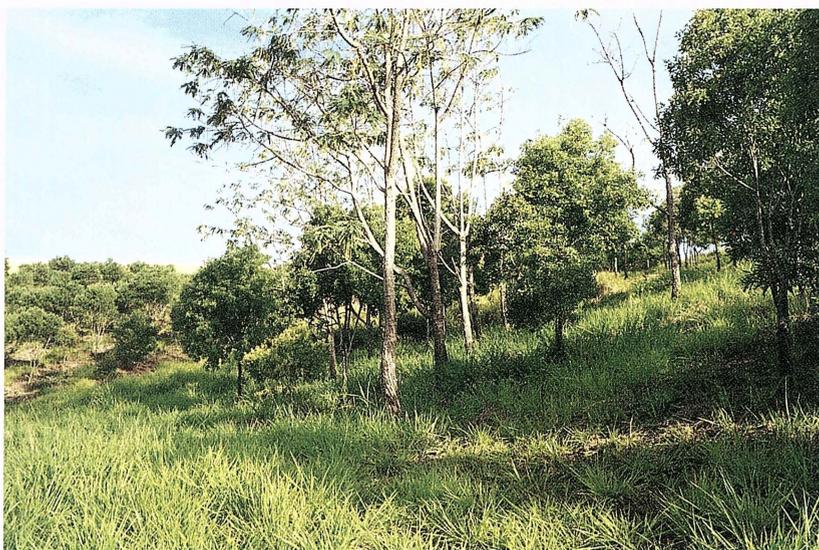
La relation santal-hôtes est complexe et globalement assez mal connue. Le problème majeur réside, par rapport à une relation de parasitisme strict, dans le caractère hémiparasi-

te du santal qui le rend capable de prélever directement une partie de ses besoins nutritionnels dans le sol. On sait (FOX et BARRETT, 1994b) que les solutions échangées entre le santal et les hôtes contiennent de l'azote, du sodium, du potassium, du phosphore et des acides aminés. Des études en conditions contrôlées (BARRETT *et al.*, 1985 ; CROSSLAND, 1982 ; HIRANO, 1990) et au champ (CHAUVIN, données non publiées) avec et sans hôtes ont montré que :

- la majeure partie des besoins en azote, phosphore, potassium, cuivre et acides aminés sont satisfaits au travers de l'hôte ;
- le santal est capable d'extraire du sol la majeure partie de ses besoins en fer et en calcium, ainsi qu'une petite part de l'azote et du potassium nécessaires.

Des analyses foliaires sur *S. austrocaledonicum* (VEILLON, 1994) indiquent que les feuilles contiennent de l'azote et du potassium en quantités importantes, supérieures à celles du sol et des végétaux alentour, et du phosphore en quantité étonnamment faible. Dans la plupart des conditions écologiques, même sur des sols très fortement désaturés en bases, les quantités d'éléments nutritifs (en particulier l'azote) contenues dans les feuilles sont très élevées. Il est probable que cette concentration de la sève et la forte pression osmotique qui en résulte soient nécessaires au bon fonctionnement des flux entre hôte et parasite. Quoi qu'il en soit, le santal semble en même temps avide d'azote et incapable d'extraire cet élément de façon satisfaisante.

Un hôte secondaire devrait donc être capable d'extraire de grosses quantités d'azote du sol, quelles que soient les caractéristiques de ce dernier : un arbre fixateur d'azote semble donc un « choix naturel ». Cette supposition est confirmée par l'examen des cortèges floristiques associés aux populations de santal



Plantation de *Santalum austrocaledonicum* avec *Sesbania grandiflora*, âgée de 7 ans : vue d'ensemble. Saint-Léon, Païta (Nouvelle-Calédonie).
Seven-year-old *Santalum austrocaledonicum* plantation with *Sesbania grandiflora*. General view. Saint-Léon, Païta (New Caledonia).

(beaucoup d'acacias) et par des essais d'association avec diverses plantes-hôtes. A l'heure actuelle, les hôtes secondaires « recommandés » doivent donc être des arbres fixateurs d'azote (*Acacia spp*, *Paraserianthes falcataria*, *Casuarina spp*, *Gymnostoma spp.*, etc.). On gardera cependant à l'esprit que de bonnes performances ont été enregistrées avec des espèces non fixatrices d'azote (RAI, 1990), en particulier avec *Melia spp.* (Méliacées), *Wrightia sp.* (Apocynacées).

Dispositifs de plantation

Il n'existe pas encore de doctrine arrêtée en ce qui concerne les dispositifs de plantation combinée hôte-santal. Plusieurs types sont testés (en Nouvelle-Calédonie et en Australie) mais nous manquons encore de recul. Il est toutefois possible de considérer deux grandes familles :

+ Lignes pures

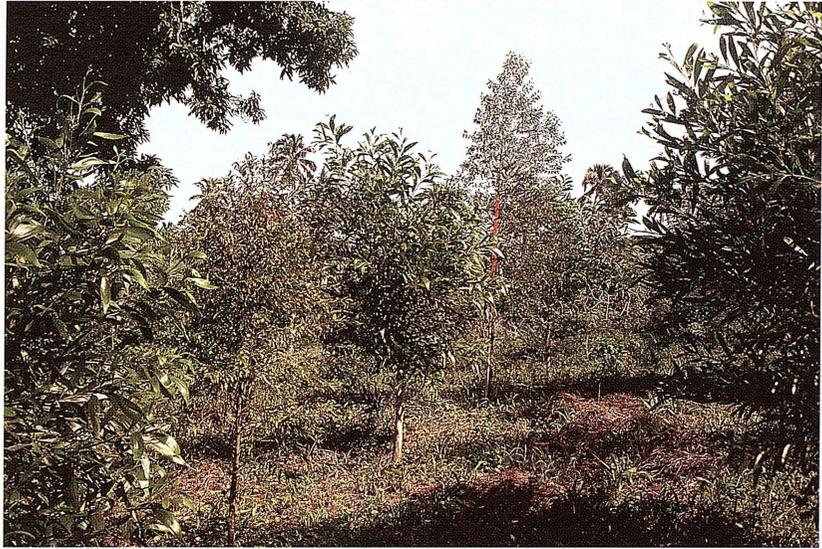
o	o	o	o	o	o	o
x	x	x	x	x	x	x
o	o	o	o	o	o	o

+ Lignes alternées

x	o	x	o	x	o	x
o	x	o	x	o	x	o
x	o	x	o	x	o	x

o : santal **x** : hôte secondaire

La méthode des lignes pures ne peut être utilisée que si la préparation du sol permet une prospection racinaire multidirectionnelle et tout particulièrement dans une direction perpendiculaire aux lignes de plantation. Elle n'est donc pas souhaitable lorsque les pentes sont relativement fortes et que les préparations mécanisées doivent être faites selon les courbes de niveau ou dans des périmètres irrigués. Dans les deux cas, le rapport doit être d'au moins un hôte par pied de santal.



Plantation de *Santalum austrocaledonicum* avec *Acacia auriculiformis*, âgée de 2 ans. Lignes mixtes santal-acacia. Rarotonga (Iles Cook). La perche rouge fait 2 m.

Two-year-old Santalum austrocaledonicum plantation with Acacia auriculiformis. Mixed sandalwood-acacia lines. Rarotonga (Cook Islands). The red stake is 2 m high.

La réussite de telles plantations simultanées dépend de la rapidité d'établissement de la liaison hôte-parasite. Il est donc nécessaire de privilégier des espacements plus réduits entre santal et hôte qu'entre deux santals ou deux hôtes. L'établissement de cette liaison demandant au mieux plusieurs semaines, il est aussi de la plus grande importance que l'hôte primaire soit vigoureux lors de la plantation afin qu'il puisse assurer les besoins du santal pendant la phase d'établissement. Dans la plupart des cas, la végétation herbacée adventice servira aussi de relais avant que le santal et son hôte ne soient efficacement reliés. Une autre solution, de plus en plus utilisée en Australie (RADOMIJAC, 1994a), passe par la plantation très près du santal d'un hôte intermédiaire à durée de vie courte et port buissonnant, qui doit jouer le rôle de relais jusqu'à l'établissement des liens parasitaires avec l'hôte définitif.

Entretiens

L'application d'engrais et/ou d'un amendement calcique est nécessaire durant les premières années de croissance. Cette fertilisation doit concerner aussi bien les santals que les hôtes. Dès que les plants et la liaison parasitaire sont établis, cette fertilisation n'est plus nécessaire mais elle reste recommandée.

Les opérations de désherbage doivent être conduites avec précaution, surtout après la plantation, car les premières plantes parasitées par le santal seront les herbacées adventices présentes au moment de la plantation ou développées juste après. Un dégagement trop fort, alors que le lien hôte secondaire-santal n'est pas bien établi, a des effets négatifs évidents sur la croissance des santals car il se traduit par une réduction importante des liens parasitaires.

taires. Il est cependant nécessaire de contrôler les adventices à cause des problèmes de compétition et de feu. Bien évidemment, l'utilisation de produits chimiques est totalement à proscrire et les dégagements devront être manuels.

CONDUITE DES PLANTATIONS

Dans tous les types de plantations, il est fortement recommandé d'effectuer des élagages et des tailles de formation afin d'obtenir une bille de pied la plus importante possible et d'éviter le développement de fourches basses. Le prix sur le marché international de billons de bois de cœur de fortes dimensions est très élevé et la plus-value réalisée par la vente de ce type de produit est largement supérieure à celle issue de la distillation pour l'huile essentielle. Un arbre multicaule possède, en outre, un taux de bois de cœur plus faible et son désaubiérage est plus difficile.

Il convient cependant d'effectuer avec précaution les tailles de formation, en particulier lorsque les sites de plantation sont pauvres ou que les plants sont soumis à des stress hydriques fréquents. En effet, dans de telles conditions, le santal a tendance à prendre un port très buissonnant « en balai » (tronc très court surmonté par une profusion de branches très fines), peu compatible avec une production optimale de bois de cœur. La taille de formation est donc nécessaire. Cependant le remède peut être pire que le mal car si l'équilibre tronc/branche est trop modifié par la taille, il y aura une émission vigoureuse de rejets à la base du pied.

Les plantations étant faites à écartement définitif, il n'y a *a priori* pas à prévoir d'éclaircie ; il faut cependant surveiller le niveau de compétition entre les santals et les plantes-hôtes. Si ces dernières prennent trop le dessus, il y aura une baisse de croissance très nette des santals.



Plantation de *Santalum austrocaledonicum* (7 ans) avec *Acacia spirorbis* qui a remplacé *Sesbania grandiflora* mort. Arbre de 4 m de haut qui a été très fortement élagué, il y a un an, pour contrecarrer un port buissonnant dû à des stress hydriques répétés. Saint-Léon, Païta (Nouvelle-Calédonie).

Seven-year-old Santalum austrocaledonicum plantation with Acacia spirorbis which replaced the dead Sesbania grandiflora. The 4-m high tree was significantly pruned a year earlier to counter bushy growth due to repeated hydric stress. Saint-Léon, Païta (New Caledonia).



Plantation de *Santalum austrocaledonicum* avec *Acacia spirorbis*, âgée de 5 ans. Taille des plantes-hôtes pour dégager les santals. Saint-Léon, Païta (Nouvelle-Calédonie).

Five-year-old Santalum austrocaledonicum plantation with Acacia spirorbis. Cutting of host plants to clear the sandalwoods. Saint-Léon, Païta (New Caledonia).

C'est ce qui s'est passé, en Nouvelle-Calédonie, lors des essais d'association *S. austrocaledonicum* – *Pinus caribaea* : le pin est un hôte intéressant mais beaucoup trop vigoureux et qui étouffe complètement le santal dans les premières années.

L'estimation des durées de rotation est encore largement hypothétique du fait du manque de recul en ce qui concerne les plantations existantes. Les données actuelles sur les vitesses de croissance proviennent soit de formations naturelles, soit de jeunes plantations. Il semble cependant raisonnable d'estimer (FOX et BARRETT,

1994b ; NASI, 1994c ; RAI, 1990 ; TACCONI, 1994) que, pour *S. album* et *S. austrocaledonicum* plantés dans de bonnes conditions, les accroissements en circonférence entre 0 et 15 ans sont supérieurs à 4 cm/an, avoisinent les 2,5 cm/an entre 15 et 30 ans, puis « tombent » à 1-1,5 cm/an après ; il serait donc possible d'obtenir un arbre de 100 cm de circonférence en 35 ans environ. A titre indicatif, un pied de *S. austrocaledonicum* de circonférence comprise entre 100 et 110 cm représente environ 250 à 300 kg de bois de cœur. Il semble donc que l'on puisse, dans un premier temps, se fixer une rotation de 30-35 ans pour ces deux espèces. En ce qui concerne *S. spicatum*, on considère (MC KINNEL, 1990) qu'il faut 100 ans pour produire un arbre exploitable dans la zone désertique (200-250 mm/an) contre 50 ans pour produire le même arbre dans la « Wheat belt » (300-600 mm/an).

PHYTOPATHOLOGIE

MALADIES

La maladie de l'épi (*Spike disease*) qui affecte les populations naturelles et artificielles de *S. album* en Inde est de loin la plus grave dans le genre *Santalum*. Cette maladie qui a occasionné de lourdes pertes économiques est causée par un micro-organisme de type bactérien (*Mycoplasma-like organism*, MLO) transmis par des insectes suceurs de sève. Elle se traduit par la mort du plant infecté suite à la désorganisation des tubes criblés du phloème. Il n'existe pas aujourd'hui de cure efficace ; des antibiotiques ont bien été testés mais sans succès (FOX et BARRETT, 1994b). Les recherches actuelles suivent trois voies différentes : sélection de génotypes résistants ; élimination des phénotypes connus pour être *a priori* sensibles et utilisation d'hôtes mini-

misant les risques d'infection. Cette maladie de l'épi n'est connue qu'en Inde, mais il n'est pas dit qu'elle ne puisse affecter d'autres espèces ; aussi est-il nécessaire de prendre toutes les précautions lors d'échange de matériel végétal et, en particulier, de ne jamais importer de graines provenant d'aires infectées.

Pour le reste, les santals semblent assez peu sujets aux maladies. Sur *S. album*, on a constaté un virus de type « mosaïque » (SMITH, 1972) et d'assez nombreuses espèces de champignons, responsables de taches foliaires : *Ascochyta santali*, *Asterina congesta*, *Marcophorina phaseoli*, *Oidium* spp., *Sphaedelmia santali* (SRINIVASAN et al., 1992). Les santals semblent d'ailleurs assez sensibles à ce type d'affections fongiques puisqu'un bon nombre d'entre elles ont aussi été relevées sur les espèces australiennes, la plus fréquente étant causée par le champignon *Cercospora santalacea* sur *S. spicatum*.

Les plants en pépinière sont aussi sensibles à la gamme classique des agents de fonte de semis : *Fusarium* sp., *Mucor* sp., *Phytophthora* sp., *Pythium*, etc. Le contrôle de ces agents fongiques est efficacement assuré par une bonne hygiène et une bonne gestion de la pépinière.

INSECTES

En Inde, environ 150 insectes attaquent *S. album* d'une façon ou d'une autre. Ils ne sont pas tous spécifiques et appartiennent à une large gamme d'ordres Coléoptères (34 espèces), Hémiptères (74), Lépidoptères (29), Orthoptères (3), Thysanoptères (15), Isoptères (1). En Nouvelle-Calédonie, *S. austrocaledonicum* est souvent attaqué par des cochenilles (Homoptères) des genres *Ceroplastes* et *Coccus*. Ces attaques sont le plus souvent très intenses mais très localisées (un ou deux arbres dans un peuplement) et touchent préférentiellement des indi-

vidus affaiblis, en particulier après des dégâts dus au feu. Aucun de ces insectes ne semble cependant causer de dommages importants à grande échelle.

Les principaux risques proviennent des insectes suceurs de sève (Hémiptères) car, outre qu'ils s'attaquent aux jeunes rameaux et feuilles, ils peuvent être des vecteurs de la maladie de l'épi.



L'Atelier organisé à Nouméa (cf. B.F.T. n° 247) a permis de répondre à bon nombre de questions concernant la connaissance théorique et pratique en vue de préserver et de gérer correctement cette ressource importante qu'est le santal. Il a aussi permis de réactiver la dynamique de recherche et de développement initiée lors des précédentes rencontres internationales tenues à Hawaï. On note ainsi un intérêt nouveau pour le santal, de la part des pays participants aussi bien que des bailleurs de fonds (GTZ, Union européenne...).

Des propositions de coopération ont été établies entre les pays du Pacifique présents, le premier objectif étant la réalisation d'un essai de comparaison espèces/provenances multisites dans le Pacifique. Par ailleurs, une coopération active entre le CIRAD-Forêt et certains pays (Iles Cook, Vanuatu), dans le domaine des plantations de santal, a effectivement démarré avec des résultats très prometteurs. □

► Robert NASI
CIRAD-Forêt/CIFOR
B.P. 643
LIBREVILLE
Gabon

► Yves EHRHART
CIRAD-Forêt
Centre Jean-François Cherrier
B.P. 10001
98805 NOUMÉA CEDEX
Nouvelle-Calédonie

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- APPLEGATE G. B., Mc KINNELL F. H., 1993.
The Management and Conservation Status of *Santalum* Species Occurring in Australia. In : Sandalwood in the Pacific Region. Proceedings of a symposium held on 2 June 1991 at the XVII Pacific Science Congress, Honolulu, Hawaii. Editor : Mc Kinnell, F. H. ACIAR Proceedings No 49, p. 5-13.
- BARRETT D. R., 1987.
Germination and planting out techniques for the Western Australian sandalwood (*Santalum spicatum*). Mulga Research Centre Journal 9 : 31-32.
- BRENNAN P., MERLIN M., 1993.
Biogeography and Traditionnal Use of *Santalum* in the Pacific Region. In : Sandalwood in the Pacific Region. Proceedings of a symposium held on 2 June 1991 at the XVII Pacific Science Congress, Honolulu, Hawaii. Editor : Mc Kinnell F.H. ACIAR Proceedings No 49, p. 31-39.
- CHAUVIN J. P., 1988.
La production de plants de santal en Nouvelle-Calédonie. Bois et Forêts des Tropiques 218 : 33-41.
- COLLECTIF, 1990.
Sandalwood in the Pacific : A State-of Knowledge Synthesis and Summary from the April 1990 Symposium. In : Proceedings of the Symposium on Sandalwood in the Pacific, Honolulu, Hawaii, April 9-11, 1990. General Technical Report PSW-122, Pacific Southwest Research Station, Hawaii, p. 1-11.
- CROSSLAND T., 1982.
Germination of sandalwood seed. Mulga Research Centre Report 5 : 13-16.
- FRIOU M., NASI R., CORNU A., 1994.
Inventaire des peuplements de santal de l'Île des Pins. Nouméa, Nouvelle-Calédonie, CIRAD-Forêt, 42 p.
- HARISSETIJONO, SUTARJO SURIAMI-HARDJA, 1993.
Sandalwood in Nusa Tenggara Timur. In : Sandalwood in the Pacific Region. Proceedings of a symposium held on 2 June 1991 at the XVII Pacific Science Congress, Honolulu, Hawaii. Editor : Mc Kinnell F.H. ACIAR Proceedings No 49, p. 39-43.
- HIRANO R. T., 1990.
Propagation of *Santalum*, Sandalwood Tree. In : Proceedings of the Symposium on Sandalwood in the Pacific, Honolulu, Hawaii, April 9-11, 1990. General Technical Report PSW-122, Pacific Southwest Research Station, Hawaii, p. 43-45.
- JIKO L. R., 1993.
Status and Current Interest in Sandalwood in Fiji. In : Sandalwood in the Pacific Region. Proceedings of a symposium held on 2 June 1991 at the XVII Pacific Science Congress, Honolulu, Hawaii. Editor : Mc Kinnell F. H. ACIAR Proceedings No 49, p. 14-19.
- Mc KINNELL F. H., 1990.
Status of Management and Silviculture Research on Sandalwood in Western Australia and Indonesia. In : Proceedings of the Symposium on Sandalwood in the Pacific, Honolulu, Hawaii, April 9-11, 1990. General Technical Report PSW-122, Pacific Southwest Research Station, Hawaii, p. 19-25.
- MERLIN M., Van RAVENSWAAY D., 1990.
The History of Human Impact on the Genus *Santalum* in Hawaii. In : Proceedings of the Symposium on Sandalwood in the Pacific, Honolulu, Hawaii, April 9-11, 1990. General Technical Report PSW-122, Pacific Southwest Research Station, Hawaii, p. 46-60.
- PAUL J. H., 1990.
The Status of Sandalwood (*Santalum macgregorii*) in Papua New Guinea. In : Proceedings of the Symposium on Sandalwood in the Pacific, Honolulu, Hawaii, April 9-11, 1990. General Technical Report PSW-122, Pacific Southwest Research Station, Hawaii, p. 76-78.
- QUEMIN C., 1988.
Etudes sur le santal (*Santalum austrocaledonicum*). Mémoire ENITEF. Nouméa, Centre Technique Forestier Tropical, 84 p. + annexes.
- RAI S. N., 1990.
Status and cultivation of sandalwood in India. In : Proceedings of the Symposium on Sandalwood in the Pacific, Honolulu, Hawaii, April 9-11, 1990. General Technical Report PSW-122, Pacific Southwest Research Station, Hawaii, p. 66-71.
- SKOTTSBERG C., 1956.
Natural history of Juan Fernandez and Easter Island. Vol. 2. Uppsala, Almqvist and Wiksells Bocktrykeri AB.
- SMITH K.M., 1972.
A textbook of Plant Virus Diseases (3rd edition). London, Longman, 684 p.
- SPRAGUE T., SUMMERHAYES V., 1927.
Santalum, *Eucarya* and *Mida*. Kew Bulletin p. 193-202.
- SRINIVASAN V. V., SIVARAMAKRISHNAN V. R., RANGASWAMY C. R., ANANTHAPADMANABHA H. S. SHANKARANARAYANA K. H., 1992.
Santal (*Santalum album* Linn.). Dehra Dun, India, Indian Council of Forestry Research and Education (I.C.F.R.E.), 233 p.
- STATHAM P., 1990.
The Sandalwood Industry in Australia : A History. In : Proceedings of the Symposium on Sandalwood in the Pacific, Honolulu, Hawaii, April 9-11, 1990. General Technical Report PSW-122, Pacific Southwest Research Station, Hawaii, p. 26-38.
- VIART, 1963.
Contribution à l'action de l'homme sur la végétation dans le sud de l'Inde. Thèse de doctorat, Université de Toulouse, p. 169-176.

Communications présentées à l'« Atelier régional sur le santal » (Nouméa 1.12.08/94)

- BARRETT D. R., FOX J. E. D., 1994.
Geographical distribution of *Santalaceae* and botanical characteristics of species in the genus *Santalum*.
- CHEVALIER L., 1994.
Historique et importance économique du santal en Nouvelle-Calédonie.
- FOX J. E. D., BARRETT D. R., 1994a.
Germination and the question of dormancy in seed of *Santalum album*.
- FOX J. E. D., BARRETT D. R., 1994b.
Silvicultural characteristics associated with the ecology and parasitic habit of sandalwood. In : Sandalwood seed nursery and plantation technology. Proceedings of a regional workshop for Pacific island countries, 1-11 August 1984, Nouméa, New Caledonia, GJERUM L., FOX J., EHRHART Y., Ed. RAS/92/361, Field document n° 8, August 1995. South Pacific Forestry Development Programme, FAO/PNUD, Suva, Fidji.
- FOX J. E. D., BARRETT D. R., 1994c.
Protocol for establishment of *Santalum album* in Timor, Indonesia.
- FOX J. E. D., BRAND J. E., BARRETT D. R., 1994a.
Genetic variation in *Santalum album* in Timor, Indonesia.
- FOX J. E. D., BRAND J. E., BARRETT D. R., 1994b.
Heartwood and tree size in *Santalum album* in Timor, Indonesia.
- FOX J. E. D., DORONILA A. I., BARRETT D. R., 1994c.
The selection of superior pot hosts for maximum nursery growth in *Santalum album*.
- KOMANG SURATA I., SUSTRINO E., SINAGA M., 1994.
Utilization and conservation of sandalwood in Nusa Tenggara Timur, Indonesia.
- NASI R., 1994a.
Germination and seed dormancy in *Santalum austrocaledonicum*.
- NASI R., 1994b.
Heartwood in *Santalum austrocaledonicum*.
- NASI R., 1994c.
Planting sandalwood. The New Caledonian 'experience'.
- PAPILIO B., 1994.
Utilisation traditionnelle du santal à Uvée (Territoire Wallis et Futuna).
- RADOMIJAC A. M., 1994a.
The influence of pot host species, seedling age and nursery nutrition on *Santalum album* L. plantation establishment. Ord River Irrigation Area (Western Australia).
- RADOMIJAC A. M., 1994b.
Research trends for *Santalum* species – an emphasis on germ plasm conservation and plantation establishment.
- TACCONI L., 1994.
An economic analysis of sandalwood cultivation and trade in Vanuatu.
- VEILLON J. M., JAFFRE T., 1994.
Le santal (*Santalum austrocaledonicum* Vieillard) en Nouvelle-Calédonie : taxonomie-distribution-écologie.
- VIRA R., SMITH A., 1994.
A brief on sandalwood development in Vanuatu.

R É S U M É

LE SANTAL, UN PARFUM DE PROSPÉRITÉ 2^e partie - Les plantations

Un atelier régional sur le santal, conjointement organisé par le CIRAD-Forêt et le « South Pacific Forestry Development Programme » à Nouméa en août 1994, a permis de faire le bilan des connaissances actuelles sur cet important produit forestier. Cet article, qui prolonge « le santal, un parfum de prospérité », fait le point sur les méthodes et technologies qui doivent être nécessairement maîtrisées pour la mise en place et la gestion des plantations de santal, compte tenu des caractéristiques très particulières de cette plante.

Mots-clés : *Santalum album*. *Santalum austrocaledonicum*. Plantation forestière. Sylviculture. Technologie appropriée. Gestion des ressources. Produit forestier. Produit forestier non ligneux.

A B S T R A C T

SANDALWOOD, A PERFUME OF PROSPERITY Part 2 - Plantations

A regional workshop on sandalwood, jointly organized in Nouméa by CIRAD-Forêt and the South Pacific Forestry Development Programme, made it possible to present most of the existing knowledge on this important forest product.

This article, which is a development of "Sandalwood, a perfume of prosperity", summarizes the various methods and techniques to be mastered in order to establish and manage sandalwood plantations, given the very particular nature of the plant.

Key words : *Santalum album*. *Santalum austrocaledonicum*. Forest plantations. Silviculture. Appropriate technology. Resource management. Forest product. Non-wood forest product.

R E S U M E N

EL SANTALO, PERFUME DE PROSPERIDAD Segunda parte - Las plantaciones de santalo

Un taller regional acerca del sántalo, organizado conjuntamente por el CIRAD-Forêt y el « South Pacific Forestry Development Programme », que tuvo lugar en Numea en agosto de 1994, ha permitido establecer el balance de los conocimientos actuales acerca de este importante programa forestal.

El presente artículo, que constituye la continuación de otro precedente, que lleva por título « El sántalo, perfume de prosperidad », precisa la situación actual acerca de los métodos y tecnologías que deben ser dominadas obligatoriamente para la implementación y la gestión de las plantaciones de sántalo, habida cuenta de las características sumamente particulares de esta planta.

Palabras clave : *Santalum album*. *Santalum austrocaledonicum*. Plantaciones forestales. Silvicultura. Tecnología apropiada. Ordenación de recursos. Productos forestales. Productos forestales no leñosos.

SYNOPSIS

SANDALWOOD, A PERFUME OF PROSPERITY

Part 2 - Sandalwood plantations

ROBERT NASI, YVES EHRHART

This paper follows the first paper « Sandalwood, a perfume of prosperity » published in the last issue of B.F.T. It gives all the up to date practical information on techniques for seed conservation and germination, and nursery, planting and plantation management.

SEED COLLECTION AND CONSERVATION

Sandalwood usually gives a lot of seeds over a long period with one or two peaks of production per year. The fruit is collected ripe on the trees and any already overripe seeds must be discarded. The flesh is removed and the stones are thoroughly cleaned. An immediate flotation test discards the floating seeds. Then, the seeds are treated with a fungicide, dried and stored in a cold storage facility at 3 to 4° C. Seeds are stored for six months to two years. Afterwards the germination rate decreases markedly.

GERMINATION : The most delicate operation

Careful scarification of the hard mesocarp is required. The seeds are soaked in cold water for 12 hours. If the seeds have been stored for less than 6 months, a solution of gibberellic acid is used. Then, they are sowed in heated beds (28-30 °C ± 1 °C) with frequent watering and very good drainage. As soon as germination begins, the cracked seeds are transferred to another box (sand mixed with peat) in order to avoid fungal attacks in the wet, hot atmosphere of the heated beds. Germination rates reach 60 to 80 % after 30 days.

NURSERY

Sandalwood must parasitise a host. It needs a host plant in the pot which is not too tall, can be easily propagated, and is efficient. Three of them were identified : *Alternanthera*, *Desmanthus*, *Crotalaria*. In our case, we found *Alternanthera* the most suitable. Pots of sizeable diameter must be chosen in order to enhance the development of superficial roots (parasitic link). The pot medium must be well drained and 30 % sand

content gives an optimum growth. Sandalwood reacts very well to fertilisers, which are thus recommended.

After pricking out, the seedlings are kept under shade for three weeks then put out in full sun. At the age of 6 months the seedling reaches a height of 30 cm and is ready to be planted.

PLANTATION AREA

- Rainfall between 700 to 2,000 mm.
- The soil must be well drained.

Two systems are considered : on cleared land and within natural vegetation (low bush, secondary vegetation).

Secondary vegetation (bush, shrubs) : rows are opened up in the existing vegetation. This system allows efficient wind protection and light management. Associated with shifting gardens, an agroforestry approach is considered with sowing during slash and burn operations. One or two years of gardening will allow the seedlings to start growing in good conditions.

In cleared areas : deep cross ripping associated with complete ploughing of the soil is recommended.

HOST PLANT

Since the host plant in the pot will not suffice to assure the parasitic link after planting, a host tree must be planted along with the sandalwood. It must live as long as the sandalwood, assure an efficient parasitic link, protect the sandalwood from drying winds, and lastly should be economically profitable (firewood, timber). The nutrients needed by sandalwood come mainly through the parasitic link although Sandalwood can extract nitrogen, ferrous calcium and potassium directly from the soil but not enough to satisfy its considerable needs particularly in nitrogen. For this reason, nitrogen fixing trees are "obvious" hosts (confirmed by pot and field trials).

PLANTATION LAYOUT

Each sandalwood must have a host beside it. Two layouts are recommended depending on the conditions : alternating pure

rows of sandalwood and host trees or mixed rows where sandalwood alternates with the hosts. The rate of 1 host for 1 sandalwood is the minimum recommended.

Root propagation must be enhanced in order to encourage immediate parasitism (soil preparation, intermediate host plant, low spacing between host and sandalwood).

PLANTATION MANAGEMENT

Fertilisation is highly recommended in the initial years with lime input. Regular weeding is needed without being too intense : weeds are host plants too. Pruning is sometimes compulsory particularly in dry and windy areas. A single straight bole gives the highest heartwood rate possible and the best price for the wood. Pruning must be light and regular in order to avoid coppicing. The host tree must be managed in order to protect the sandalwood without eliminating it.

The present figure for growth shows a girth growth of 4 cm/year between 0-15 years, 2,5 cm/year between 15-30 years and an increment of 1 to 1,5 cm/year after 30 years. In fertile conditions sandalwood can reach a girth of 100 cm at 35 years (250 to 300 kg of heartwood).

DISEASES

Spike disease takes a heavy toll in India. Hopefully, the Pacific region is still free of it. Strict quarantine regulations must be enforced for all seeds coming from infected areas. Few other diseases are significant except fungal attacks on leaves and young seedlings in the nursery.

CONCLUSION

The "Sandalwood workshop" in Nouméa answered many questions about the theoretical knowledge needed to manage these resources. Propositions for regional cooperation were worked out by the participants and a multi-site species and provenance trial could soon be set up in the South Pacific. This will strengthen the already existing bilateral cooperation between CIRAD-Forêt and certain South Pacific countries.