



BERNARD DUPUY
CIRAD-Forêt

PLANTATIONS MÉLANGÉES EN FORÊT DENSE HUMIDE IVOIRIENNE



Plantations âgées de deux ans en mélange Méliacée/*Leucaena leucocephala* à Mopri (Côte-d'Ivoire).
*Two-year-old mixed plantings of Meliaceae/*Leucaena leucocephala* in Mopri (Côte-d'Ivoire).*





Des plantations mélangées ont été réalisées depuis 1930 en Côte-d'Ivoire sur environ 14 000 hectares.

Cet article présente les avantages et les inconvénients de ces mélanges ainsi que des propositions d'association.

L'association dans une même parcelle de diverses espèces d'arbres plantés est une technique sylvicole ancienne. Les premières opérations d'enrichissement en layons et de plantations sous forêt ont permis d'essayer plusieurs associations en mélange en Côte-d'Ivoire dès le début du siècle. Les espèces d'arbres utilisées étaient des essences de bois d'œuvre telles que : le Niangon (*Heritiera utilis*), l'Acajou bassam (*Khaya ivorensis*), le Framiré (*Terminalia ivorensis*), l'Okoumé (*Aucoumea klaineana*), le Sipo (*Entandrophragma utile*), le Dibétou (*Lovoa trichilioides*), l'Azobé (*Lophira alata*), le Bossé (*Guarea cedrata*), le Tiama (*Entandrophragma angolense*)...

Ulérieurement, avec le développement des plantations en plein découvert à partir des années 60, de nombreuses autres espèces d'arbres ont été utilisées en mélange : le Sapelli (*Entandrophragma cylindricum*), le Fraké (*Terminalia superba*), le Samba (*Triplochiton scleroxylon*), le Makoré (*Thiaghemella heckelii*), le Doussié (*Afzelia spp.*), le Badi (*Nauclea diderrichii*), le Bahia (*Mitragyna ciliata*), l'Illomba (*Pycnanthus angolensis*), le Cedrela (*Cedrela odorata*), le Teck (*Tectona grandis*), le Gmelina (*Gmelina arborea*), les acacias australiens (*Acacia mangium*, *A. auriculiformis*), le Cassia (*Cassia siamea*), les Eucalyptus... Le plus souvent ces associations concernent soit des espèces à vocation bois d'œuvre, soit des espèces à vocation bois d'œuvre et bois-énergie.

POURQUOI PLANTER AUJOURD'HUI DES ARBRES EN MÉLANGE ?

Les problèmes rencontrés dans les plantations monospécifiques sont multiples (entretiens, élagage, con-

formation des bois, valorisation des bois d'éclaircie, attaques parasitaires...). Pour essayer de pallier ces difficultés, des plantations forestières associant plusieurs espèces d'arbres en mélange sont utilisées. Il faut y voir, d'une part, la volonté de conserver une certaine diversité dans le peuplement forestier et, d'autre part, de limiter les risques de problèmes inhérents aux plantations monospécifiques. Les associations d'arbres en mélange permettent en effet d'augmenter la variabilité de la composition, de la structure et de l'architecture des peuplements plantés. Aujourd'hui, en associant plusieurs espèces d'arbres à la plantation, le sylviculteur peut avoir différents objectifs :

- Limiter l'impact des problèmes phytosanitaires liés à la monospécificité des plantations.
- Améliorer la protection des sols contre l'érosion et restaurer la fertilité des sols.
- Contrôler le développement des adventices indésirables et diminuer les risques de feux.
- Améliorer la forme des arbres d'avenir en créant un sous-étage à rôle éducatif.
- Favoriser la valorisation des produits d'éclaircie en bois de service ou bois de feu par association d'espèces à vocations différentes.
- Economiser le matériel végétal de qualité grâce à l'utilisation en bourrage d'une deuxième espèce d'accompagnement...

Pour pouvoir gérer convenablement et durablement des peuplements mélangés, il faut leur assigner clairement un objectif dominant et ceci avant la plantation. De cet objectif découlera la sylviculture appliquée au peuplement. Quels que soient ses objectifs, la réussite d'une plantation en mélange repose sur quelques règles sylvicoles élémentaires.



DES PARTICULARITÉS À RESPECTER !

Planter en mélange suppose de respecter les contraintes et particularités des mélanges. Bien entendu le choix des espèces à associer repose d'abord sur le respect de leurs exigences écologiques. Pour chaque espèce, l'adéquation entre le choix de l'espèce et du site de plantation (climat, topographie, sol, alimentation hydrique) doit être respectée afin d'obtenir une croissance optimale du peuplement (DUPUY et MILLE, 1991 ; WORMALD, 1992 ; EWANS, 1992). Pour l'introduction d'une espèce en reboisement, il faut dans un premier temps considérer les conditions climatiques générales et les exigences propres à chaque espèce.

D'un point de vue sylvicole, il faut aussi distinguer les associations selon des critères d'occupation de l'espace. Le sylviculteur agit à deux niveaux pour gérer le mélange (DAUGET, DUPUY et N'GUESSAN, 1990) : la répartition topographique des plants et la structure verticale des peuplements.

Pour des raisons pratiques de mise en place, les mélanges sont le plus souvent réalisés par lignes. Le nombre de lignes de chaque espèce varie et permet de définir des taux de mélange différents en fonction des objectifs assignés au peuplement. Les taux de mélange à la plantation retenus sont compris entre 50 % et 25 %.

En fonction de différentiels de croissance entre les essences associées, deux grands types de structure verticale des peuplements en mélange sont distingués : une structure monistrate et une structure bistrate.

□ **Dans les peuplements à structure monistrate**, la croissance des deux espèces associées est identique. Le sylviculteur cherche à obtenir, en fin de révolution, un mélange

par bouquets ou pied par pied des deux espèces ayant atteint simultanément leur diamètre d'exploitabilité. En associant deux espèces à croissance similaire, il est facile d'éliminer lors des éclaircies l'espèce dont la croissance est la plus médiocre.

□ **Dans les peuplements à structure bistrate**, l'espèce à la croissance la plus rapide, dite « espèce principale », est à privilégier lors des éclaircies. Cette espèce constitue à terme la strate dominante. L'espèce à la croissance la plus lente, dite « espèce secondaire », forme un sous-étage, temporaire ou permanent.

Dans une zone écologique donnée, un des principaux facteurs limitant la réussite des associations en mélange est le comportement de chaque espèce vis-à-vis de la lumière. Dans la vie d'un mélange, une espèce donnée peut être appelée à

être dominée temporairement par l'autre. Certaines espèces peuvent tolérer un certain couvert comme : *Heritiera utilis*, *Khaya ivorensis*, *K. anthoteca*, *Entandrophragma utile*, *E. angolense*, *Guarea cedrata*, *Tectona grandis*, *Cassia siamea*, *Leucaena leucocephala*... Il en sera tenu compte dans la gestion sylvicole des mélanges.

ESSAI DE TYPOLOGIE

Il est possible de distinguer les mélanges selon leur architecture (monistrate, bistrate), leur objectif (production, protection), le type de produits ligneux (bois d'œuvre, bois d'industrie, bois-énergie)...

Trois principaux types majeurs de plantations en mélange peuvent être actuellement identifiés :

□ **Les mélanges à vocation production bois d'œuvre** : ils sont le plus



Plantations de 35 ans en mélange Samba/Teck à Sangoué (Côte-d'Ivoire).
Thirty-five-year-old mixed plantings of Samba/Teck in Sangoué (Côte-d'Ivoire).



OBJECTIF, ASSOCIATION-TYPE ET DENSITÉ DE PLANTATIONS DES PRINCIPAUX MÉLANGES			
Type de mélange	Monostrate	Bistrate	Bistrate
Objectif sylvicole Production • Bois d'œuvre • Bois de service Protection	principal secondaire secondaire	principal principal secondaire	principal secondaire principal
Mélange type	<i>Khaya ivorensis</i> + <i>Heritiera utilis</i> <i>Terminalia ivorensis</i> + <i>T. superba</i>	<i>Tectona grandis</i> + <i>Cassia siamea</i> <i>Terminalia ivorensis</i> + <i>Acacia mangium</i>	<i>Khaya spp</i> + <i>Leucaena leucocephala</i> <i>Tectona grandis</i> + <i>Acacia auriculiformis</i>
Densité de plantation	700-1 100 tiges/ha	1 100-1 500 tiges/ha	400-1 500 tiges/ha
Taux de mélange	50 % - 50 %	25 % - 75 %	50 % - 50 %

souvent des mélanges monostrates d'espèces soit à moyenne révolution (20-40 ans), soit à longue révolution (50 ans et plus). Ils associent des es-

pèces telles que : *Terminalia ivorensis* et *T. superba*, *Terminalia superba* et *Triplochiton scleroxylon*, *Khaya ivorensis* et *Heritiera utilis*, *Khaya*

ivorensis et *Aucoumea klaineana*, *Heritiera utilis* et *Aucoumea klaineana*, *Triplochiton scleroxylon* et *Gmelina arborea*. Les deux espèces associées ont des durées de révolution et des sylvicultures (densité de plantation, régime des éclaircies) peu différentes.



Plantations de 60 ans en mélange Acajou Bassam/Niangon à Yapo (Côte-d'Ivoire).
Sixty-year-old mixed plantations of African mahogany/Niangon in Yapo (Côte-d'Ivoire).

□ **Les mélanges à vocation mixte de production** (bois d'œuvre, bois de service et bois énergie) : ce sont le plus souvent des mélanges bistrates. L'espèce principale, qui est dominante, est une espèce à moyenne révolution (20-40 ans) ; elle a une vocation de production de bois d'œuvre. L'espèce dominée a une vocation de production de bois de service ou de bois-énergie ; c'est le plus souvent une espèce de courte ou moyenne révolution (5-20 ans). Ce type de mélange permet une valorisation plus facile des premières éclaircies réalisées en priorité dans les strates inférieures. A titre d'exemple, nous pouvons citer les associations d'espèces suivantes : *Tectona grandis* et *Cassia siamea*, *Terminalia ivorensis* et *Acacia mangium*, *Gmelina arborea* et *Acacia*



auriculiformis, *Cedrela odorata* et *Acacia mangium*... Un traitement en taillis de l'espèce composant la strate inférieure (*Cassia siamea*, *Acacia spp.*) permet de favoriser et de pérenniser une structure bistratée du peuplement.

□ **Les mélanges à vocation mixte production/protection** : dans ces mélanges, une espèce à vocation bois d'œuvre à moyenne ou longue révolution (supérieure à 20 ans) est alors associée à une espèce à vocation culturale. Nous pouvons citer, à titre d'exemple, les associations suivantes : *Khaya spp.* (*Acajou Bassam*, *Acajou blanc*, *Acajou à grandes feuilles*, *Cailcedrat*) et *Leucaena leucocephala*, *Entandrophragma spp.* (*Sipo*, *Kosipo*, *Tiama*, *Sapelli*...) et *Leucaena leucocephala*, *Tectona grandis* et *Acacia auriculiformis*, *Gmelina arborea* et *Acacia auriculiformis*...

Dans ce cas, l'espèce d'accompagnement (*Leucaena leucocephala*, *Acacia auriculiformis*...) a pour vocation principale soit de protéger ou d'améliorer les sols, soit de lutter contre l'enherbement et le développement des espèces indésirables (*Musanga*, *Chromolaena*, *Trema*, *Solanum*, *Imperata*...) ou de réduire les risques de feux ou d'essayer de limiter l'impact des attaques parasitaires ; cette espèce a donc essentiellement une vocation culturale. Elle fait l'objet de rabattages réguliers dans le jeune âge (recépage, étêtage...) afin de ne pas concurrencer l'espèce à vocation bois d'œuvre dont l'objectif est la production. L'aspect production est accessoire pour l'espèce secondaire qui est traitée avec de courtes révolutions (inférieures à 5 ans). On utilise souvent des légumineuses qui présentent l'avantage de combiner une bonne protection physique du sol et une capacité à enrichir en éléments minéraux, notamment en Azote.

PERSPECTIVES DES PLANTATIONS EN MÉLANGE

Une fois connus les règles sylvicoles élémentaires à respecter et l'objectif assigné au peuplement choisi, il est possible de réaliser utilement de nombreuses plantations mélangées dans des contextes variés. Dans beaucoup de cas, la réhabilitation de l'état forestier est, en effet, une contrainte incontournable en Afrique tropicale à la suite d'une surexploitation de la ressource ligneuse combinée à des défrichements abusifs. Dans les zones de forêts denses humides, l'action de reboisement intensif doit concerner en priorité les jachères abandonnées, plus ou moins dégradées par l'agriculture itinérante et les feux de brousse. Sans considérer leur impact bioclimatique, le rôle des reboisements est multiple : réhabilitation et protection des sols, production ligneuse, protection contre les feux, sauvegarde *ex-situ* du matériel végétal, protection de la faune...

L'association d'espèces de couverture ligneuse permet d'assurer une protection des sols contre les agents météoriques. Ces associations par la création d'un couvert forestier suffisamment dense peuvent limiter le développement d'adventices indésirables propres à favoriser la propagation des feux de brousse au sein des plantations. Les espèces associées peuvent avoir un impact positif direct (légumineuses) ou indirect (stockage dans l'humus) sur les réserves minérales des sols ainsi que sur leur bilan hydrique (amélioration de la structure physique). Il faut noter que l'utilisation de plantes de couverture herbacée comme le *Pueraria phaseolides* peut aussi être une alternative intéressante.

Dans le cas de risques d'attaques parasitaires concernant une espèce

ce donnée, il est possible d'envisager la création de peuplements mélangés évoluant au gré des éclaircies en faveur de l'espèce la moins attaquée. Ce type de mélange, pied par pied ou en bouquets, ne réduit pas les risques d'attaque mais l'expérience montre qu'il limite les risques d'échec en les répartissant sur deux ou plusieurs espèces. Ce type de raisonnement s'applique à d'autres risques de destruction des plantations comme les feux de brousse. La résistance aux feux est en effet fort variable selon les espèces.

L'étude des associations des espèces en mélange est toujours une étude comparée du comportement de deux espèces. Elle est un complément nécessaire des études sur les plantations monospécifiques. Le degré de compatibilité en mélange des espèces est un bon indicateur de leur plasticité sylvicole et de leur sociabilité. Les espèces de jeunes forêts secondaires, dites cicatricielles (AUBREVILLE, 1947 ; GUILLAUMET et ADJANOHOUN, 1971 ; ALEXANDRE, 1979 ; TROCHAIN, BLASCO et PUIG, 1980 ; KAHN, 1982 ; FAVRICHON, 1991) comme : *Terminalia spp.*, *Triplochiton scleroxylon*, *Aucoumea klaineana*, *Nauclea diderrii*, *Funtumia spp.* ont un comportement d'espèces socialement dominantes. Ces espèces ont besoin, dans leur jeune âge, d'un éclaircissement et d'un espace suffisant faute de quoi elles ne peuvent s'installer et disparaissent rapidement. Les espèces de forêts secondaires vieilles ou de forêts climaciques (*Heritiera utilis*, *Khaya spp.*, *Mansonia altissima*, *Entandrophragma spp.*, *Chlorophora excelsa*...) ont un comportement plus sociable et peuvent tolérer un degré de concurrence plus intense. Ces espèces peuvent se développer à l'ombre dans le jeune âge et rester ainsi en phase d'attente jusqu'à une mise en lumière qui leur permet de reprendre une croissance soutenue.





De ce point de vue, les études des plantations en mélange deviennent aussi un complément utile des recherches sur l'auto-écologie des espèces en forêt naturelle, domaine dans lequel il reste fort à faire. A de multiples égards, la sylviculture des

plantations en mélange apparaît comme un lien entre la sylviculture des plantations monospécifiques et la sylviculture en forêt naturelle. Il faut finalement rappeler que plantations en mélange et productivité ne sont pas deux notions incompatibles

à condition de choisir judicieusement les espèces associées en mélange. □

► Bernard DUPUY
IDEFOR-D.F.O.
08 B.P. 33, ABIDJAN 08
Côte-d'Ivoire

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ALEXANDRE (D. Y.), 1979.

De la régénération naturelle à la sylviculture en forêt tropicale. ORSTOM : 1-33.

AUBREVILLE (A.), 1947.

La régénération naturelle et l'enrichissement de la forêt équatoriale. Bois et Forêts des Tropiques (4) : 26-30.

DAUGET (J.-P.), DUPUY (B.), et N'GUESSAN (A.), 1991.

Approche architecturale d'une plantation en mélange Samba/Teck. Bois et Forêts des Tropiques, 224 (2) : 21-27.

DUPUY (B.), 1989.

Plaidoyer pour le reboisement dans les zones tropicales humides. Bois et Forêts des Tropiques. 221 (3) : 31-42.

DUPUY (B.), MILLE (G.), 1991.

Reboisement à vocation bois d'œuvre en Afrique intertropicale. Rome, F.A.O. (98), 225 p.

EVANS (J.), 1992.

Plantation forestry in the tropics. Oxford Clarendon Press, 400 p.

FAVRICHON (V.), 1991.

Sur quelques relations entre la croissance des arbres et la structure du peuplement en forêt semi-décidue (République Centrafricaine). C.T.F.T./CIRAD.D.E.A., Paris VI, 40 p.

GUILLAUMET (J. L.), ADJANOHOON (E.), 1971.

La végétation de Côte-d'Ivoire. In : Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire. ORSTOM, Mémoire n° 50 : 157-263.

KAHN (E.), 1982.

La reconstitution de la forêt tropicale humide du sud-ouest de la Côte-d'Ivoire. Mémoire ORSTOM 97 : 150 p.

TROCHAIN (J. L.), BLASCO (F.), PUIG (H.), 1980.

Ecologie végétale de la zone intertropicale non désertique. Toulouse, France, Université Paul Sabatier, 468 p.

WORMALD (T.J.), 1992.

Mixed and pure forest plantations in the tropics and subtropics. Rome, F.A.O. 103, 152 p.





R É S U M É

PLANTATIONS MÉLANGÉES EN FORÊT DENSE HUMIDE IVOIRIENNE

Des plantations mélangées, associant plus d'une vingtaine d'espèces, ont été réalisées depuis 1930 en Côte-d'Ivoire sur environ 14 000 hectares. Ces espèces sont originaires de la forêt dense humide africaine (*Heritiera utilis*, *Khaya ivorensis*, *Terminalia ivorensis*, *T. superba*, *Triplochiton scleroxylon*, *Nauclea diderrichii*, etc.) ou bien introduites en Afrique (*Tectona grandis*, *Gmelina arborea*, *Cedrela odorata*, etc.). Ponctuellement des espèces exotiques à croissance rapide (*Pins*, *Eucalyptus*, *Acacias australiens*, *Leucaena*, *Cassia*, *Albizia*) ont aussi été testées en mélange. Les objectifs des associations d'espèces en mélange sont multiples : diversification de la production, limitation des attaques parasitaires, protection des sols, amélioration de la fertilité, etc.

Les plantations en mélange peuvent évoluer vers des structures avec une ou plusieurs strates. Cette évolution est fonction de la croissance des espèces concernées et des sylvicultures pratiquées. Les avantages et inconvénients de ces mélanges sont illustrés et commentés à travers différentes associations qui révèlent des degrés de compatibilité entre essences très variables. Des propositions d'association sont réalisées à travers différents mélanges caractéristiques.

Mots-clés : Forêt tropicale humide. Plantation forestière. Culture en mélange. Sylviculture. Afrique.

A B S T R A C T

MIXED PLANTATIONS IN CÔTE-D'IVOIRE RAIN FORESTS

In Côte-d'Ivoire, since 1930, some 14,000 hectares have been put to mixed plantations combining more than 20 species.

These species either originate from the African rain forest (*Heritiera utilis*, *Khaya ivorensis*, *Terminalia ivorensis*, *T. superba*, *Triplochiton scleroxylon*, *Nauclea diderrichii*, etc.) or have been introduced into Africa (*Tectona grandis*, *Gmelina arborea*, *Cedrela odorata*, etc.). Fast-growing exotic species (pines, eucalyptus, Australian acacias, *Leucaena*, *Cassia*, *Albizia*) have also been specifically experimented with in mixed plantations. The goals of mixed species associations are several : diversification of production, reduction of parasitic attacks, soil protection, fertility improvement, etc.

Mixed plantations may be developed into stands with one or more layers. This development depends on the growth of the species in question and on the silvicultural systems used. The advantages and drawbacks of these mixed plantations are illustrated and analysed by different associations which reveal very variable degrees of compatibility between species.

Key words : Tropical forests. Forest plantations. Mixed cropping. Silviculture. Africa.

R E S U M E N

PLANTACIONES MIXTAS EN BOSQUE DENSO HUMEDO DE CÔTE-D'IVOIRE

Desde 1930 se han plantado en Côte-d'Ivoire unas 14 00 hectáreas de variedades mixtas formadas por más de veinte especies.

Estas especies tienen por origen el bosque denso húmedo africano (*Heritiera utilis*, *Khaya ivorensis*, *Terminalia ivorensis*, *T. superba*, *Triplochiton scleroxylon*, *Nauclea diderrichi*, etc.) o bien, introducidas en África (*Tectona grandis*, *Gmelina arborea*, *Cedrela odorata*, etc.). Ciertas especies exóticas de crecimiento rápido (*Pinos*, *Eucaliptos*, *Acacias australianas*, *Leucaena*, *Cassia*, *Albizia*) han sido también ensayadas, puntualmente, en plantación mixta. Los objetivos perseguidos por las combinaciones mixtas de diversas especies son múltiples : diversificación de la producción, limitación de los ataques de parásitos, protección de los suelos, mejora de la fertilidad, etc. Las plantaciones mixtas pueden evolucionar hacia estructuras con uno o más estratos. Esta evolución depende del crecimiento de las especies utilizadas y de los géneros de silvicultura aplicados. Las ventajas e inconvenientes de estas plantaciones mixtas se ilustran y comentan por medio de diversas combinaciones que ponen de manifiesto grados de compatibilidad entre especies sumamente variables. Se han realizado diversas propuestas de combinación de especies por medio de distintas mezclas características.

Palabras clave : Bosque tropical. Plantación forestal. Cultivo mixto. Silvicultura. África.



MIXED PLANTATIONS IN CÔTE-D'IVOIRE RAIN FORESTS

The association in the same parcel of different species of planted trees is an old silvicultural technique. Early improvement programmes involving more racks and sub-forest plantations have helped to try out several mixed associations in Côte-d'Ivoire since the turn of the century. The species of trees used were timber species such as niangon (*Heritiera utilis*), bassam mahogany (*Khaya ivorensis*), framiré (*Terminalia ivorensis*), okoumé (*Aucoumea klaineana*), sipo (*Entandrophragma*), dibétou (*Lovoa trichilioides*), azobé (*Lophira alata*), bossé (*Guarea cedrata*), tiama (*Entandrophragma angolense*), etc.

Subsequently, with the development of totally open plantations from the 1960s on, numerous other tree species have been used for mixed planting: sapelli (*Entandrophragma cylindricum*), fraké (*Terminalia superba*), samba (*Triplochiton scleroxylon*), makoré (*Thiaghemella heckelii*), doussié (*Azelia* spp.), badi (*Nauclea diderrichii*), bahia (*Mitragyna ciliata*), ilomba (*Pycnanthus angolensis*), cedrela (*Cedrela odorata*), teak (*Tectona grandis*), gmelina (*Gmelina arborea*), Australian acacias (*Acacia mangium*, *Acacia auriculiformis*), cassia (*Cassia siamea*), and eucalyptus... In most instances, these associations involve either timber species, or timber and fuelwood species. Some 14,000 hectares associating more than 20 species have thus been planted since 1930.

WHY PLANT MIXED TREES TODAY ?

The problems arising in monospecific plantations are numerous (upkeep, pruning, structure of the different types of wood, proper use of thinned wood, parasite attacks...). In an attempt to deal with these problems, forest plantations associating several species of mixed trees are used. This shows, on the one hand, a desire to keep a certain diversity in the forest stand, and, on the other, a desire to limit the risks of problems inherent to monospecific plantations. Associations of mixed trees help in effect to increase the variability of the make-up, structure and architecture of stands planted. Nowadays, by associating several tree species in a plantation, the forester may have different aims :

- To restrict the impact of tree-protection problems linked with plantation monospecificity.
- To improve the way soils are protected from erosion, and restore soil fertility.
- To monitor the development of unwanted adventitious growth and reduce fire hazards.
- To improve the shape of future trees by creating an under-storey with a helpful role.
- To encourage the use of thinned wood as timber or firewood by the

association of species with differing uses.

- To save on quality plant matter by the use of a second accompanying species as filler...

For the proper and sustainable management of mixed stands, they must be allocated a principal objective, before planting. This objective will dictate the type of silvicultural system to be applied to the stand. Whatever the objectives may be, the success of a mixed plantation will depend on certain elementary silvicultural rules.

SPECIAL FACTORS TO TAKE INTO ACCOUNT

Mixed planting presupposes a respect for the restrictions and special factors implicit in the mixtures in question. Needless to say, the choice of species to be associated is based first and foremost on a respect for their ecological requirements. For each and every species, compatibility between choice of species and planting site (climate, topography, soil, water supply) must be respected if optimum stand growth is to be obtained (DUPUY & MILLE, 1991 ; WORMALD, 1992 ; EWANS, 1992). For the introduction of a species for afforestation purposes, it is first important to take into account the general climatic conditions and the requirements peculiar to each species.

From a silvicultural standpoint, different associations must also be made based on land-use criteria. The forester operates on two levels to manage the mixture (DAUGET, DUPUY & N'GUESSAN, 1990) : the topographical distribution of the plants and the vertical structure of the stands.

For practical reasons to do with actual planting, mixed plantations are usually organized in lines or rows. The number of lines of each species varies, and helps to define different mixed levels based on the objectives set for the stand. Mixed plantation levels considered are between 50 % and 25 %.

Based on growth differentials between species associated, two major types of mixed stand vertical structure emerge : a single-layer structure and a two-layer structure.

□ **In single-layer stands**, the growth of two associated species is identical. At the end of rotation, the forester tries to obtain a mixture by patch or tree-by-tree of the two spe-

cies which have simultaneously attained their loggable diameter. By associating two species with similar growth rates, it is easy to get rid of the species with the lesser growth rate during thinning.

□ **In two-layer stands**, the faster-growing species, called the principal species, is to be given preferential treatment during thinning. In due course, this species forms the dominant layer. The slower-growing species, called the secondary species, forms an under-storey, either temporary or permanent.

In a given ecological zone, one of the two main factors limiting the success of mixed cropping is the behaviour of each species in relation to light. In the life of a mixed plantation, a given species may have to be temporarily dominated by the other. Certain species will put up with a certain cover, such as *Heritiera utilis*, *Khaya ivorensis*, *K. anthoteca*, *Entandrophragma utile*, *E. angolense*, *Guarea cedrata*, *Tectona grandis*, *Cassia siamea*, *Leucaena*

leucocephala... This will be taken into account in the silvicultural management of mixed crops.

TYPOLOGICAL TESTING

Mixed crops can be defined by their architecture (single-layer, two-layer), their purpose (production, protection), and their type of wood product (timber, industrial wood, fuelwood...).

Three main major types of mixed plantations can currently be singled out :

□ **Mixed crops for timber production** : these are usually single-layer mixtures of either medium rotation (20-40 years) or long rotation (50 years or more) species. They associate species such as *Terminalia ivorensis* and *T. superba*, *Terminalia superba* and *Triplochiton scleroxylon*, *Khaya ivorensis* and *Heritiera utilis*, *Khaya ivorensis* and *Aucoumea klaineana*, *Heritiera utilis* and

Purpose, association-type and plantation density of principal mixed crops

Type of mixture	Single-layer	Two-layer	Two-layer
Silvicultural purpose			
Production			
* timber	principal	principal	principal
* usable wood	secondary	principal	secondary
* protection	secondary	secondary	principal
Type of mixture	<i>Khaya ivorensis</i> + <i>Heritiera utilis</i> <i>Terminalia ivorensis</i> + <i>T. superba</i>	<i>Tectona grandis</i> + <i>Cassia siamea</i> <i>Terminalia ivorensis</i> + <i>Acacia mangium</i>	<i>Khaya spp.</i> + <i>Leucaena leucocephala</i> <i>Tectona grandis</i> + <i>Acacia auriculiformis</i>
Planting density	700-1 100 stems/ha	1 100-1 500 stems/ha	400-1 500 stems/ha
Rate of mixture	50 % -50 %	25 % -75 %	50 % -50 %

Aucoumea klaineana, *Triplochiton scleroxylon* and *Gmelina arborea*... The two associated species have fairly similar rotation periods and silvicultural systems (planting density, thinning calendar).

□ **Mixed production crops (timber, usable wood and fuelwood)** : these are usually two-layer mixed crops. The principal species, which is dominant, is a medium rotation (20-40 years) species. Its purpose is to produce timber. The secondary, dominated species is for producing usable wood or fuelwood. It is usually a short or medium rotation (5-10 years) species. This type of mixture renders it simpler to make better use of the first thinnings carried out on a priority basis in the lower layers. By way of example, we can mention the following species associations : *Tectona grandis* and *Acacia mangium*, *Gmelina arborea* and *Acacia auriculiformis*, *Cedrela odorata* and *Acacia mangium*... A coppice system for the species forming the lower layer (*Cassia siamea*, *Acacia spp.*) makes it possible to encourage and stabilize a two-layer structure for the stand.

□ **Mixed crops combining productive and protective functions** : in these mixed crops, a timber-producing, medium or long rotation (more than 20 years) species is associated with a species whose function is that of a crop. We may mention, as examples, the following associations : *Khaya spp.* (bassam mahogany, white mahogany, bigleaf mahogany, cailcedrat) and *Leucaena leucocephala*, *Entandrophragma spp.* (sipo, kosipo, tiama, sapelli...) and *Leucaena leucocephala*. *Tectona grandis* and *Acacia auriculiformis*, *Gmelina arborea* and *Acacia auriculiformis*...

In this instance, the main task of the accompanying species (*Leucaena leucocephala*, *Acacia auriculi-*

formis...) is to protect or improve soils, either by combating invasion by grasses and the development of unwanted species (*Musanga*, *Chromolaena*, *Trema*, *Solanum*, *Impetrata*...), or by reducing fire risks, or by trying to limit the impact of parasitic attacks. So, essentially, this species is a cropping species. It is regularly felled when young (cutting back or coppicing, topping) so as not to compete with the timber-producing species, whose purpose is productive. The production aspect is secondary for the accompanying species, which is on a short rotation system (5 years or less). Leguminous species are often used, which have the advantage of combining good physical soil protection with a capacity to improve it in mineral elements, in particular nitrogen.

THE OUTLOOK FOR MIXED PLANTATIONS

Once those involved are familiar with the elementary rules of silviculture and the purpose earmarked for the stand chosen, it is possible to produce, to good effect, many mixed plantations in various settings. In many instances, the rehabilitation of the condition of the forest is in effect an unavoidable restriction in tropical Africa, as a result of over-logging combined with improper land clearance. In zones of tropical and rain forest, intensive reforestation operations must first and foremost deal with abandoned fallow land, that has been more or less degraded by itinerant farming and bush fires. Without considering their bio-climatic impact, reforestation plays many roles : rehabilitation and soil protection, wood production, fire protection, ex-situ safeguarding of plant matter, wildlife protection...

The association of ligneous cover species helps to ensure soil protec-

tion against atmospheric agents. By creating a sufficiently closed forest cover, these associations can limit the development of unwanted adventitious species which may encourage the spread of bush fires within plantations. The associated species may have a positive impact that is direct (leguminous species) or indirect (storage in humus) on the mineral reserves in the soil, as well as on their water balance (improvement of the physical structure). It is worth noting that the use of herbaceous cover plants such as *Pueraria phaseolides* may also offer an interesting alternative.

In the case of risks of parasite attacks on a given species, the creation of mixed stands can be envisaged, which develop along with thinnings favouring the least attacked species. This type of mixture, either tree-by-tree or in clumps, does not reduce the risk of attack, but experience shows that it limits the risks of failure, by distributing them among two or more species. This type of reasoning can be applied to other risks involving the destruction of plantations, such as bush fires. Fire resistance does in fact vary a lot from species to species.

The study of mixed species associations is invariably a comparative study of the behaviour of two species. It is a necessary complement to studies on monospecific plantations. The degree of compatibility with mixed species is a good pointer to their silvicultural flexibility and their sociability. The species in young secondary forests, called fire scar species (AUBRÉVILLE, 1947 ; GUILLAUMET & ADJANOHOUN, 1971 ; ALEXANDRE, 1979 ; TROCHAIN, BLASCO & PUIG, 1980 ; KAHN, 1982 ; FAVRICHON, 1991) such as : *Terminalia spp.*, *Triplochiton scleroxylon*, *Aucoumea klaineana*, *Nauclea diderrichii*, *Funtumia spp.*, etc. show a behaviour typical of socially dominant species. When

young, these species need thinning and sufficient space. Failing this they do not manage to establish themselves, and they disappear fast. Species of old secondary or climatic forests (*Heritiera utilis*, *Khaya* spp., *Mansonia altissima*, *Entandrophragma* spp., *Chlorophora excelsa*...) have a more sociable behaviour, and may tolerate slightly stiffer competition. These species may be developed in shade when young and thus remain in the expect-

tant phase until the arrival of light enables them to resume sustained growth.

From this viewpoint, studies of mixed plantations also become a useful complement to research projects dealing with the auto-ecology of species in natural forest area in which there is still much work to be done. In many respects, the silvicultural systems for mixed plantations appear to form a link between

systems for monospecific plantations and natural forest systems. Last of all, we should point out that mixed plantations and productivity are not two incompatible concepts, provided that the species to be associated in the mixed plantation are very carefully selected. □

For bibliography, see the French version.

BOIS ET FORÊTS DES TROPIQUES

Created in 1947 and circulated in 60 countries, *Bois et Forêts des Tropiques*, at the interface of research and development, is an indispensable tool for anyone involved in the wood and timber industry, tropical forestry and the natural environment.

This review written in French, with English and Spanish abstracts, one full page English synopses for each important article and captions under illustrations, is published quarterly by CIRAD-Forêt and covers the research of its specialists and outside associates.

	Price	France*	Foreign**
1995		FF 280	FF 350
1996		FF 320	FF 390
1995 + 1996		FF 540	FF 660
Single issue		FF 80	FF 100
IUFRO special issue		FF 120	FF 140

* Taxes included

** For European nationals with no VAT registration number : + 2.10 %

CIRAD-Forêt – Subscription Department
 45 bis, avenue de la Belle-Gabrielle – 94736 NOGENT-SUR-MARNE CEDEX (France)
 Phone : (33) (1) 43 94 43 79 – Fax : (33) (1) 43 94 43 81