



A. GALIANA  
CIRAD-Forêt

A. N'GUESSAN KANGA  
IDEFOR

G. M. GNAHOUA  
IDEFOR

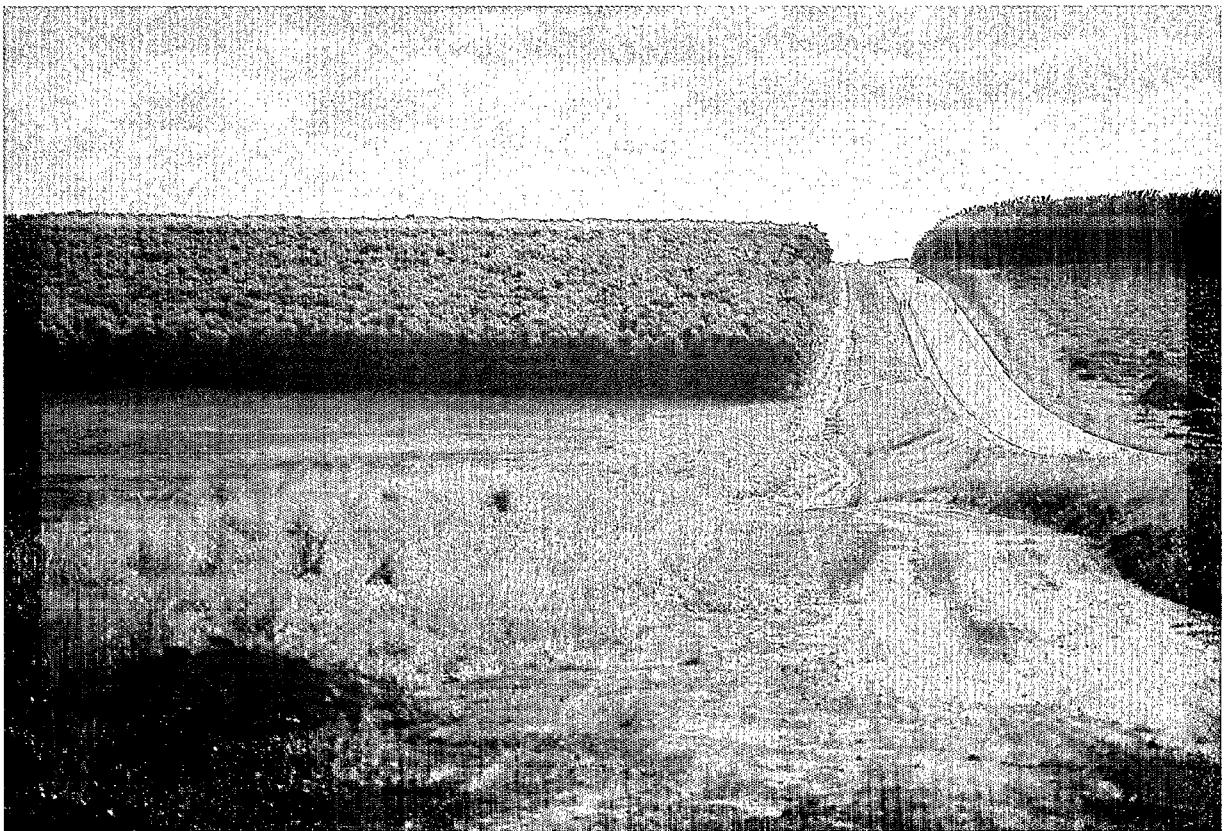
P. BALLE  
IDEFOR

B. DUPUY  
IDEFOR

A.-M. DOMENACH  
Université de Lyon

B. MALLET  
CIRAD-Forêt

# FIXATION DE L'AZOTE CHEZ *ACACIA MANGIUM* EN PLANTATION



Jeune plantation d'*Acacia mangium* utilisée comme jachère forestière en alternance avec des plantations de palmiers à huile dans la région de Dabou en Basse Côte-d'Ivoire.  
*General view of a young plantation of Acacia mangium used as forest fallow alternating with oil palm plantations in the Dabou region in lower Côte-d'Ivoire.*





Cette étude, réalisée en Basse Côte-d'Ivoire, montre l'importance de la fixation biologique de l'azote atmosphérique chez *Acacia mangium* en conditions de plantation.

Dans les vingt dernières années, plus de 100 000 ha de plantations industrielles d'*Acacia mangium* ont été mises en place en Asie du Sud-Est pour la production de pâte à papier, de bois de sciage et de panneaux de particules (GUNN, MIDGLEY, 1991). Cette espèce connaît également une utilisation croissante pour la réhabilitation des sols dégradés, notamment pauvres en azote minéral, en raison de son aptitude à fixer l'azote atmosphérique. *A. mangium* possède ainsi de grandes potentialités agroforestières et peut être utilisé au sein de jachères arborées avant la mise en place de cultures pérennes ou en association au sein de systèmes de cultures en couloir (DUPUY, N'GUESSAN, KANGA, 1991 ; DE TAFFIN *et al.*, 1991).

*A. mangium*, légumineuse fixatrice d'azote, est souvent nodulé spontanément par des rhizobiums dans son aire d'origine et dans les sols où il a été introduit. Ces bactéries symbiotiques du sol forment ainsi des nodosités racinaires fixatrices d'azote. Bien qu'*A. mangium* soit nodulé exclusivement par des souches du genre *Bradyrhizobium*, connues pour avoir un large spectre d'hôtes, il a été montré qu'*A. mangium* était une plante-hôte spécifique en raison du nombre restreint de souches de *Bradyrhizobium* pouvant former des nodules fixateurs d'azote efficaces sur cette espèce mais aussi compte tenu de la performance très variable de ces différentes souches (GALIANA *et al.*, 1990). Plusieurs expériences d'inoculation au champ menées dans différents pays et sur différents types de sols ont d'ailleurs montré un effet positif de l'inoculation avec certaines souches de *Bradyrhizobium* sur la croissance des arbres qui s'est maintenue pendant plusieurs années après transplantation au champ (MALLET, GNAHOUA, 1989 ; GALIANA, 1990 ; MALLET, 1990 ; SOUVANNAVONG, GALIANA, 1991). Les souches les plus efficaces, en

particulier Aust 13c qui fut souvent utilisée, ont été isolées à partir de nodules d'*A. mangium* collectés dans l'aire de distribution naturelle de l'espèce en Australie. L'identification immunologique des souches introduites dans ces essais au champ montraient que les souches efficaces survivaient et se maintenaient à l'intérieur des nodules des arbres inoculés plusieurs années après la date d'inoculation (GALIANA *et al.*, 1994). Cependant, l'aptitude des souches de rhizobium à fixer l'azote atmosphérique *in situ* n'a jamais été déterminée et aucune corrélation n'a encore été montrée entre l'activité fixatrice d'azote des *A. mangium in situ* et leur croissance.

Bien qu'il soit communément admis que la capacité des légumineuses arborées à fixer l'azote atmosphérique leur confère une meilleure aptitude que les autres espèces à restaurer la fertilité de sols dégradés, peu d'études au champ ont clairement vérifié ce concept. Aucune autre étude n'a d'ailleurs été réalisée pour évaluer la fixation de l'azote chez des espèces arborées en conditions de plantation à l'exception de certaines espèces actinorhiziennes (*i.e.* espèces non légumineuses associées symbiotiquement à des bactéries actinomycètes du sol fixatrices d'azote du genre *Frankia*) comme *Alnus incana* (DOMENACH *et al.*, 1989) ou *Casuarina equisetifolia* (MARIOTTI *et al.*, 1992).

La présente étude a été effectuée dans le but de déterminer par la méthode de l'abondance isotopique naturelle en  $^{15}\text{N}$  le pourcentage d'azote fixé par *A. mangium* au sein d'un essai d'inoculation âgé de deux ans mis en place en Côte-d'Ivoire. Avec le dispositif expérimental utilisé, nous analyserons, d'une part, l'effet de l'inoculation avec rhizobium et, d'autre part, l'effet de la fertilité du sol (qui variait dans l'essai d'un bloc à l'autre), sur



l'activité fixatrice d'azote d'*A. mangium* en conditions de plantation.

## MATÉRIELS ET MÉTHODES

### DESCRIPTION DU SITE ET CARACTÉRISTIQUES DU SOL

L'essai a été mis en place en juin 1990 par l'IDEFOR/D.F.O. (Institut des Forêts/Département des Forêts) à Port-Bouët en Basse Côte-d'Ivoire sur la station Jacques Delorme de l'IDEFOR/D.P.O. (Institut des Forêts/Département des Plantes Oléagineuses). Cette station est située sur des sols sableux quaternaires littoraux dans une zone climatique tropicale humide caractérisée par l'alternance annuelle de deux saisons humides et deux saisons sèches avec une pluviométrie annuelle moyenne de 2 000 mm. Le dispositif expérimental était constitué de trois blocs complets équilibrés. Le sol de l'essai dont le pH (H<sub>2</sub>O) variait de 4,20 à 4,85 avait des teneurs en C organique de 0,67 à 1,40 %, en N total

de 0,41 à 0,95 mg.g<sup>-1</sup> de sol, en P assimilable (Olsen) de 7 à 16,5 mg.kg<sup>-1</sup> de sol, en K échangeable de 0,04 à 0,10 mEq/100 g de sol (tableau I). Avant plantation, le terrain de l'essai était en friche et recouvert sur toute sa surface par deux espèces herbacées dominantes : *Imperata cylindrica*, graminée adventice représentative des sols pauvres en éléments minéraux et très acides, et *Pueraria phaseoloides*, légumineuse pérenne utilisée traditionnellement comme plante de couverture dans les cocoteraies proches du site expérimental.

### MATÉRIEL VÉGÉTAL ET SOUCHES DE RHIZOBIUM

Les graines d'*A. mangium* sont issues d'un lot de la provenance San Pedro, Côte-d'Ivoire (lot de graines IDEFOR/D.F.O.). Les *Eucalyptus urophylla* utilisés en lignes intercalaires entre les placeaux d'*A. mangium* au sein du dispositif expérimental (cf. description ci-dessous) provenaient d'une provenance locale (lot de graines IDEFOR/D.F.O.).

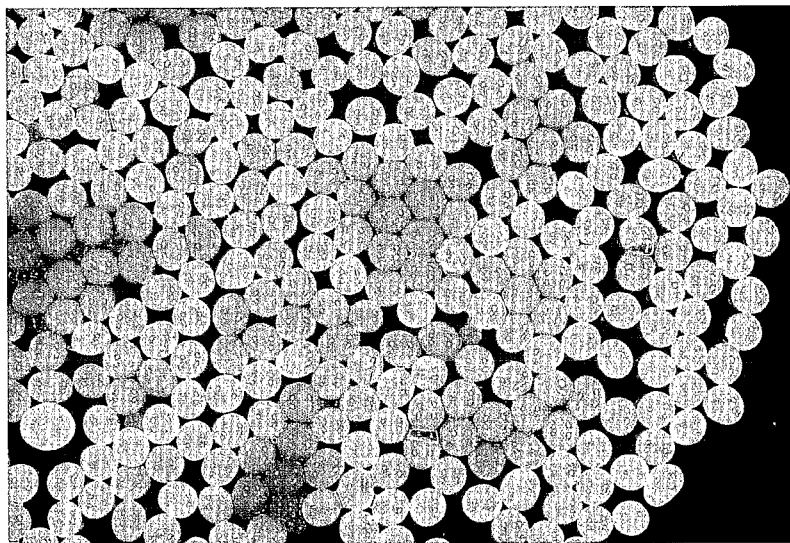
Deux souches de *Bradyrhizobium* ont été testées : Aust 13c et CB 756. Aust 13c, qui a été isolée à partir de nodules d'*A. mangium* collectés dans l'aire d'origine de l'espèce-hôte (Queensland, Australie), a été sélectionnée en raison de son aptitude à fixer l'azote activement lorsqu'on l'inoculait à de jeunes *A. mangium* cultivés en serre sur un milieu nutritif dépourvu d'azote. Au contraire, CB 756 originaire du Zimbabwe et isolée de *Macrotyloma africanum* s'est montrée peu efficace sur *A. mangium* (GAUANA et al., 1990).

### INOCULATION DES PLANTES

Les graines d'*A. mangium* ont été mises à germer sur du sable stérilisé pendant une semaine, puis transférées dans des sachets de polyéthylène de 1 l remplis de sol provenant du terrain destiné à la mise en place de l'essai. Ce sol a été préalablement désinfecté avec 0,144 g de metam sodium (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>NS<sub>2</sub>Na, dithiocarbamate de sodium commercialisé sous l'appellation Maposol, Pro-

**TABLEAU I**  
**COMPOSITION CHIMIQUE DU SOL**  
**DANS LES DIFFÉRENTS TRAITEMENTS DE L'ESSAI INOCULATION DE PORT-BOUËT**  
**HUIT MOIS APRÈS TRANSPLANTATION DES ARBRES**

Numéro de bloc	Traitement souche	pH (H <sub>2</sub> O)	C organique (%)	N total (mg.g <sup>-1</sup> )	N nitrique (mg.kg <sup>-1</sup> )	N ammoniacal (mg.kg <sup>-1</sup> )	P total (mg.kg <sup>-1</sup> )	P assimilable (mg.kg <sup>-1</sup> )	K échangeable (mEq/100 g)
Bloc I	Aust 13c	4,30	1,31	0,95	11,3	6,3	210,0	16,50	0,08
	CB 756	4,20	1,40	0,84	10,7	5,1	192,5	15,65	0,08
	Non inoculé	4,20	1,08	0,78	7,7	6,7	117,5	11,50	0,04
Bloc II	Aust 13c	4,40	1,27	0,82	9,7	11,7	167,5	13,50	0,07
	CB 756	4,70	0,84	0,73	7,0	5,7	97,5	7,70	0,05
	Non inoculé	4,50	1,27	0,87	7,5	8,0	132,5	10,55	0,06
Bloc III	Aust 13c	4,85	1,22	0,73	5,5	5,9	112,5	8,80	0,10
	CB 756	4,90	0,67	0,41	2,9	5,5	110,0	9,40	0,06
	Non inoculé	4,60	0,72	0,52	5,9	6,2	97,5	7,00	0,06



Aspect des billes d'alginate (3 à 4 mm de diamètre) dans lesquelles sont incluses les souches de rhizobium sélectionnées pour notre essai. Cet inoculum est ensuite déshydraté afin d'être conservé dans de bonnes conditions avant transport et utilisation en pépinière.

Appearance of alginate beads (diameter: 3-4 mm) containing the rhizobium strains. This inoculum will be dehydrated to be sent and used in nurseries.

cida, Marseille) par kg de sol. Les inoculums ont été préparés à partir des souches de *Bradyrhizobium* Aust 13c et CB 756 cultivées pendant 7 jours sur le milieu YEM (VINCENT, 1970) pour atteindre une concentration de  $10^9$  bactéries par ml. Ces cultures ont été incluses dans une pseudosolution d'alginate (5 %) additionnée de kaolinite (10 %) suivant le procédé mis au point par DIEM *et al.* (1989). Les billes d'alginate ainsi obtenues ont été séchées à l'air et transportées sous cette forme jusqu'au lieu d'utilisation. Avant d'être appliquées aux plantes, les billes séchées à l'air constituant l'inoculum polymérisé ont été réhydratées et dissoutes dans un tampon phosphate 0,1 M de pH 7,4 pendant 10 h à raison de 5 g d'inoculum par litre de tampon. Les inoculums ont été appliqués aux jeunes plantes à raison de 16 ml par sachet, correspondant à  $10^8$  bactéries par plant. Les plants ont été ré-

partis en trois lots d'effectifs égaux : le premier comprenant les plants inoculés avec la souche de *Bradyrhizobium* Aust 13c ; le second comprenant les plants inoculés avec la souche de *Bradyrhizobium* CB 756 ; le troisième, les plants-témoins non inoculés qui ont reçu le même apport de billes d'alginate réhydratées avec le tampon phosphate mais ne comportant pas de rhizobiums.

Les plants ont été transférés au champ après deux mois de croissance en pépinière.

#### DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

L'essai couvrant une surface de 0,783 ha est un dispositif en blocs complets randomisés constitué des trois traitements « inoculation » décrits ci-dessus (Aust 13c, CB 756 et témoins non inoculés) répliqués dans trois blocs (fig. 1). Chacune des neuf parcelles unitaires comprend 30 *A. mangium* (5 lignes × 6

arbres/ligne). Les placeaux adjacents sont séparés entre eux par trois à six lignes d'*Eucalyptus urophylla*. Les *Eucalyptus* intercalaires ont été utilisés pour éviter les contaminations réciproques de souches de rhizobium entre les différents traitements mais également comme arbres de référence non fixateurs d'azote pour évaluer le pourcentage d'azote dérivé du  $N_2$  atmosphérique (Ndfa%). L'espacement entre les arbres est de 3 sur 3 m. Avant plantation, le bloc I était entièrement recouvert par *Pueraria phaseoloides* tandis que les blocs II et III étaient exclusivement et densément colonisés par *Imperata cylindrica*.

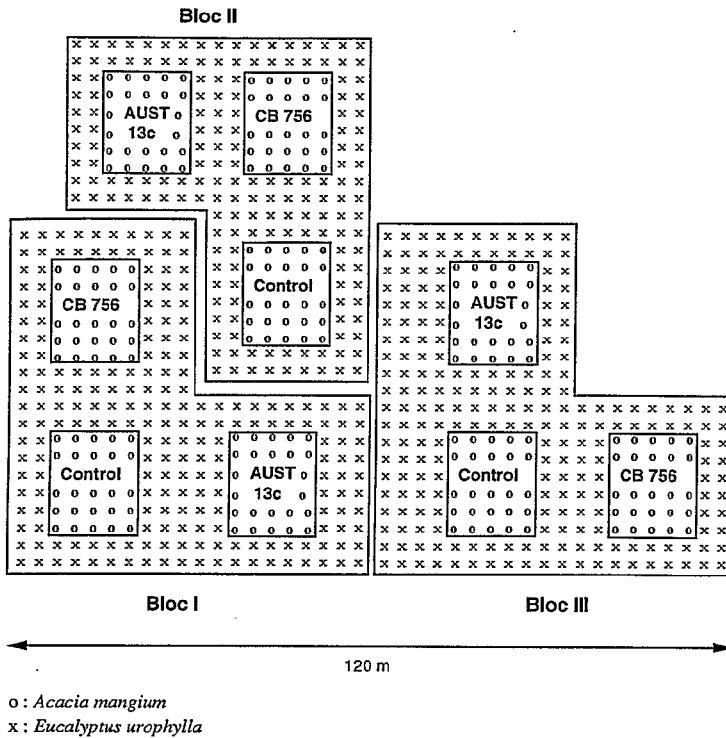
#### ANALYSE DES RÉSULTATS

Dix-neuf mois après transplantation au champ, soit 21 mois après inoculation, la hauteur des arbres et leur diamètre à la base ont été mesurés.

A cette date, plusieurs arbres de l'essai ont été échantillonnés afin de déterminer le pourcentage d'azote total et le pourcentage d'azote dérivé du  $N_2$  atmosphérique (Ndfa%) contenus dans leurs feuilles. Ces valeurs ont été déterminées sur des échantillons représentatifs de feuilles récoltées sur 8 *A. mangium* et 8 *E. urophylla* adjacents par parcelle unitaire répartis selon la même disposition d'une parcelle à une autre, soit 72 *A. mangium* et 72 *E. urophylla* sur l'ensemble de l'essai. Le pourcentage d'azote total a été mesuré par la méthode Kjeldahl (BREMNER, MULVANEY, 1982). Le Ndfa% a été calculé selon l'équation suivante (AMARGER *et al.*, 1977 ; BARDIN *et al.*, 1977) :

$$\text{Ndfa}\% = \frac{\delta^{15}\text{N}_{\text{nf}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{f}}}{\delta^{15}\text{N}_{\text{nf}} - \epsilon_{\text{fix}}} \times 100$$

où  $\delta^{15}\text{N}_{\text{nf}}$  est l'abondance isotopique des *Eucalyptus* de l'essai, les arbres de référence non fixateurs



Dispositif expérimental de l'essai d'inoculation de Port-Bouët.  
Les arbres sont répartis dans un dispositif en blocs complets randomisés incluant deux traitements d'inoculation (les arbres inoculés avec les souches de *Bradyrhizobium* Aust 13c et CB 756) et un traitement témoin (arbres non inoculés) répliqués dans trois blocs. Les parcelles unitaires, chacune comprenant 30 *Acacia mangium*, sont séparées par trois à six rangées d'*Eucalyptus urophylla* (écartement = 3 × 3 m).  
*Experimental design of field inoculation trial at Port-Bouët.*

facteurs (facteurs « inoculation » et « bloc ») et les moyennes des différents traitements ont été comparées avec le test de classement multiple de Newman et Keuls (DAGNÉLIE, 1969).

## RÉSULTATS ET DISCUSSION

### □ Effets de l'inoculation avec rhizobium et du bloc sur la croissance des acacias

Le tableau II montre un effet positif significatif ( $P < 0,05$ ) de l'inoculation avec la souche Aust 13c sur la croissance d'*Acacia mangium* 19 mois après transplantation, tous blocs confondus. Ainsi, la hauteur des arbres inoculés avec la souche Aust 13c est environ 10 % plus élevée que celle des arbres inoculés avec la souche CB 756 ou que celle des arbres-témoins non inoculés. De même, le diamètre à la base des arbres inoculés avec la souche Aust 13c est environ 15 % plus élevé que celui mesuré dans les deux autres traitements « souche ». L'effet « bloc » sur la croissance est également hau-

d'azote ;  $\delta^{15}\text{N}_p$ , l'abondance isotopique des *A. mangium* de l'essai ;  $\epsilon_{\text{fix}}$ , le  $\delta^{15}\text{N}$  des *A. mangium* cultivés sur un milieu minéral sans azote. Le coefficient d'enrichissement isotopique ( $\epsilon_{\text{fix}}$ ) est égal à -0.31. Ce coefficient a été mesuré à partir de 10 *A. mangium* inoculés avec la souche de *Bradyrhizobium* Aust 13c et cultivés pendant 12 mois en serre. L'abondance isotopique naturelle en  $^{15}\text{N}$  ( $\delta^{15}\text{N}$ ) a été mesurée avec un spectromètre de masse de marque Finnigan Mat type Delta S (Brême, Allemagne) couplé à un micro-analyseur conçu et fabriqué par le Service Central d'Analyse du C.N.R.S. (Vernaison, France).

Toutes ces données ont été soumises à une analyse de variance à deux

	Hauteur (m arbre <sup>-1</sup> )	Diamètre à la base (cm arbre <sup>-1</sup> )
<b>Effet souche*</b>		
Aust 13c	5,92 a	11,1 a
CB 756	5,34 b	9,6 b
Non inoculé	5,37 b	9,7 b
<b>Effet bloc**</b>		
Bloc I	5,93 a	10,0 b
Bloc II	5,56 b	11,0 a
Bloc III	5,12 c	9,3 c

Dans chaque colonne, les valeurs (moyennes de 90 arbres) suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes d'après le test de Newman & Keuls à  $P = 0,01$ .

\* Tous traitements « blocs » confondus.

\*\* Tous traitements « souches » confondus.

tement significatif ( $P < 0,01$  pour la hauteur et  $P < 0,05$  pour le diamètre), tous traitements « souche » confondus. En effet, la hauteur des arbres est plus élevée dans le bloc I que dans les blocs II et III (6,7 % et 15,8 % plus élevée respectivement) tandis que le diamètre des arbres est plus élevé dans le bloc II que dans les blocs I et III (avec une différence de 10 % et 18,3 % respectivement). De plus, les arbres inoculés avec la souche Aust 13c ont une croissance supérieure à ceux des autres traitements « souche », quel que soit le bloc considéré, et le classement des différents blocs en fonction de la croissance des arbres ne varie pas selon le traitement « souche » considéré (résultats non détaillés).

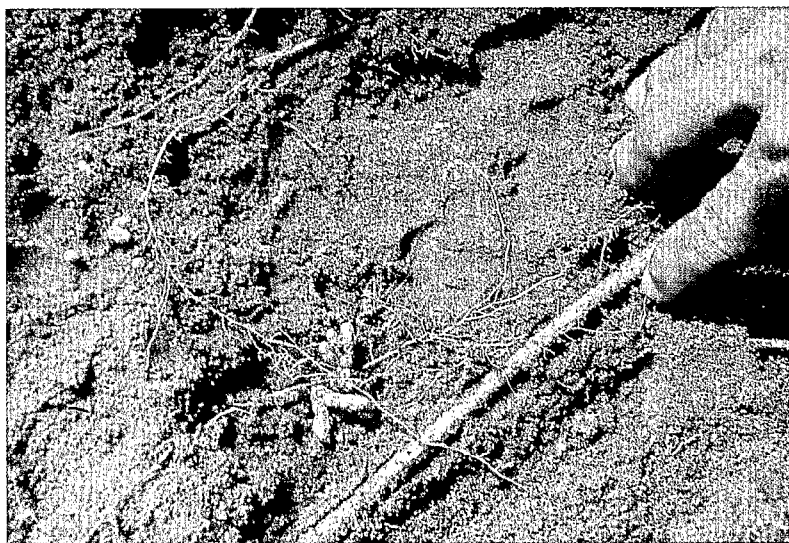
Notons ici que l'identification immunologique des souches de rhizobium présentes dans les nodules menée simultanément dans le même essai, dont les résultats ont été présentés dans une publication précédente (GALIANA *et al.*, 1994), conforte ces résultats. Dix-neuf mois

après transplantation au champ, la souche Aust 13c était présente de façon exclusive dans 100 % des nodules prélevés sur les *A. mangium* inoculés avec cette souche. À l'inverse, la souche CB 756 n'était plus présente dans les nodules des arbres préalablement inoculés avec cette souche : tous les nodules observés contenaient des rhizobiums indigènes, tout comme les arbres-témoins non inoculés. Ces résultats confirment la compétitivité supérieure de la souche Aust 13c par rapport aux souches indigènes et expliquent l'absence de différence significative entre les arbres-témoins non inoculés et les arbres inoculés avec la souche CB 756.

#### □ Evaluation de la fixation de l'azote

Comme le montre le tableau III, l'abondance isotopique naturelle en  $^{15}\text{N}$  ( $\delta^{15}\text{N}$ ) mesurée dans les feuilles d'*Acacia mangium* et d'*Eucalyptus urophylla* varie significativement en fonction du facteur « bloc »

(à  $P < 0,05$  pour *A. mangium* et  $P < 0,01$  pour *E. urophylla*) mais pas en fonction du facteur « inoculation » (dans le cas des *Eucalyptus*, ce dernier terme s'applique à des arbres mitoyens des *A. mangium* soumis à un traitement d'inoculation donné). Notons que le  $\delta^{15}\text{N}$  des *Eucalyptus*, arbres de référence non fixateurs d'azote, varie très peu d'une parcelle unitaire à l'autre à l'intérieur de chaque bloc (de 3,60 à 4,30 dans le bloc I, de 3,40 à 3,70 dans le bloc II et de 2,33 à 2,55 dans le bloc III). Le pourcentage d'azote fixé (Ndfa%) contenu dans les feuilles des *A. mangium* 19 mois après leur transplantation au champ, calculé à partir des valeurs de  $\delta^{15}\text{N}$  rapportées dans le tableau III, varie de 19,4 à 90,6 % selon les traitements « souche » et « bloc » considérés (tableau IV). Les arbres inoculés avec la souche Aust 13c ont un Ndfa% un peu plus élevé (61,7 %) que celui des arbres inoculés avec la souche CB 756 (54,9 %) ou que celui des arbres-témoins non inoculés (41,5 %), tous traitements « blocs » confondus, mais aucune différence significative n'a été relevée. On observe un effet « bloc » plus prononcé que l'effet « souche » bien qu'il ne soit pas non plus statistiquement significatif. En effet, les *A. mangium* des blocs II et III, dont le sol, à l'origine recouvert d'*Imperata cylindrica*, était peu fertile, comme les analyses de sol le montrent, ont un Ndfa% 2,4 fois plus élevé que celui du bloc I, plus fertile et dont le sol est recouvert initialement de *Pueraria phaseoloides*, tous traitements « souche » confondus (64,4 % et 66,5 % contre 27,1 % respectivement). Cette absence de différences significatives est due à la variabilité importante du Ndfa% à l'intérieur de chaque parcelle unitaire avec des coefficients de variation particulièrement élevés. Cette variabilité importante résulte probablement de l'effet combiné de l'hétérogénéité du sol dans des par-



Nodules fixateurs d'azote visibles sur les racines superficielles des *Acacia mangium* de l'essai inoculation à Port-Bouët.  
Nitrogen-fixing nodules on the surface roots of *Acacia mangium* in the inoculation field trial at Port-Bouët.





**TABLEAU III**  
 ABONDANCE ISOTOPIQUE NATURELLE\* EN  $^{15}\text{N}$  ( $\delta^{15}\text{N}$ )  
 MESURÉE DANS LES FEUILLES D'ACACIA MANGIUM ET D'EUCALYPTUS UROPHYLLA  
 DANS LES DIFFÉRENTES PARCELLES UNITAIRES DE L'ESSAI  
 19 MOIS APRÈS TRANSPLANTATION AU CHAMP

N° de bloc	Espèce	Souche Aust 13c	Souche CB 756	Témoins non inoculés	Moyenne par bloc**
Bloc I	<i>A. mangium</i>	3,24 ± 1,16	2,84 ± 1,76	2,38 ± 1,03	2,82 a
	<i>Eucalyptus</i>	4,15 ± 1,21	3,60 ± 0,98	4,30 ± 0,76	4,02 a
Bloc II	<i>A. mangium</i>	0,73 ± 0,65	1,09 ± 0,79	1,35 ± 1,09	1,06 b
	<i>Eucalyptus</i>	3,70 ± 0,55	3,56 ± 0,44	3,40 ± 1,02	3,55 a
Bloc III	<i>A. mangium</i>	-0,04 ± 0,43	0,18 ± 0,40	1,64 ± 1,14	0,59 b
	<i>Eucalyptus</i>	2,55 ± 1,43	2,33 ± 1,14	2,38 ± 0,71	2,42 b
Moyenne par traitement « inoculation »**	<i>A. mangium</i>	1,31 a	1,37 a	1,79 a	
	<i>Eucalyptus</i> ***	3,47 a	3,16 a	3,36 a	

\* Les valeurs de  $\delta^{15}\text{N}$  ± écart-type ont été calculées à partir de huit arbres par parcelle unitaire.

\*\* Les moyennes de  $\delta^{15}\text{N}$  par bloc ou par souche suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes d'après le test de Newman & Keuls à P = 0,05 (les valeurs obtenues pour chaque espèce ont été traitées séparément dans le classement de moyennes).

\*\*\* Les *Eucalyptus* d'un traitement inoculation donné n'ont pas été inoculés mais sont mitoyens des *A. mangium* réellement soumis à ce traitement inoculum et sont donc intégrés dans la même parcelle unitaire que ces derniers.

**TABLEAU IV**  
 POURCENTAGE D'AZOTE FIXÉ CONTENU  
 DANS LES FEUILLES D'ACACIA MANGIUM  
 EN FONCTION DE LA SOUCHE DE BRADYRHIZOBIUM  
 UTILISÉE ET DU BLOC CONSIDÉRÉ  
 19 MOIS APRÈS TRANSPLANTATION AU CHAMP

N° de bloc	Souche Aust 13c	Souche CB 756	Témoins non inoculés	Moyenne par bloc
Bloc I	20,4 ± 29,9	19,4 ± 42,5	41,6 ± 20,9	27,1
Bloc II	74,1 ± 17,7	63,8 ± 20,1	55,3 ± 29,9	64,4
Bloc III	90,6 ± 21,3	81,4 ± 20,1	27,5 ± 40,8	66,5
Moyenne par souche	61,7	54,9	41,5	

Les pourcentages moyens d'azote fixé ± écart-type ont été calculés à partir de 8 *A. mangium* et 8 *Eucalyptus urophylla* par traitement.

celles unitaires de grande taille et de la variabilité génétique intraprovenance élevée chez *Acacia mangium* et chez *Eucalyptus urophylla* qui sert de référence.

**□ Corrélations entre croissance des arbres, pourcentage d'azote fixé et composition chimique du sol**

Bien que, dans les trois blocs de l'essai, les arbres inoculés avec la souche Aust 13c fixent un peu plus d'azote que ceux inoculés avec la souche CB 756 ou que les témoins non inoculés et qu'ils aient une croissance supérieure, il n'y a pas de corrélation entre le Ndfa% et la croissance des *A. mangium*, exprimée en hauteur ou en diamètre (coefficients de corrélation non significatifs). En revanche, nous avons calculé des





Prélevement d'échantillons de feuilles sur les *A. mangium* de l'essai inoculation de Port-Bouët, 19 mois après sa mise en place.

Collecting samples of *A. mangium* leaves in the inoculation field trial at Port-Bouët, 19 months after being set up.

coefficients de corrélation positifs élevés et significatifs entre la hauteur des *A. mangium* et la teneur du sol en différents éléments minéraux, dont l'azote total ( $r = 0,85$  à  $P \leq 0,005$ ), l'azote nitrique ( $r = 0,88$  à  $P \leq 0,005$ ), le phosphore total ( $r = 0,87$  à  $P \leq 0,005$ ), le phosphore assimilable (méthode Olsen) ( $r = 0,86$  à  $P \leq 0,005$ ) et d'autres composants du sol comme le C organique ou le pourcentage de matière organique. Notons ici que tous les coefficients de corrélation ont été calculés à partir des valeurs moyennes obtenues par parcelle unitaire. A l'inverse, nous n'avons pas trouvé de corrélation entre le Ndfa% et les teneurs du sol en différents éléments minéraux, notamment en azote et ses dérivés. Or, il est bien connu que l'activité fixatrice d'azote chez les légumineuses est inhibée par la présence d'azote

minéral (nitrique ou ammoniacal) dans le sol (VESSEY, WATERER, 1982). Par contre, le Ndfa% est corrélié négativement ( $r = -0,72$  à  $P \leq 0,05$ ) avec la hauteur et le diamètre des *Eucalyptus* intercalaires (résultats non décrits) jouxtant les parcelles unitaires d'*A. mangium* (plus exactement les deux premières lignes d'*Eucalyptus* entourant les *A. mangium*). Les *Eucalyptus*, qui ne fixent pas l'azote atmosphérique mais qui assimilent uniquement l'azote minéral, constituent des indicateurs de fertilité du sol fiables. Notons d'ailleurs ici que l'effet positif de la souche Aust 13c sur la croissance des *A. mangium* est bien dû à cette souche et non à une mise en place aléatoire de ces arbres sur des placeaux plus fertiles puisque, tous blocs confondus, la croissance des *Eucalyptus* qui bordent les *A. mangium* inoculés avec la souche Aust

13c n'est pas significativement différente de celle des *Eucalyptus* jouxtant les *A. mangium* témoins non inoculés (avec des hauteurs moyennes respectives de 4,84 et 5,05 m et des diamètres moyens respectifs de 6,09 et 6,43 cm). On suppose bien entendu que les *A. mangium* d'une parcelle unitaire donnée et les *Eucalyptus* adjacents à cette parcelle reposent sur un sol de même composition physico-chimique.

L'absence de corrélation entre le Ndfa% et les paramètres de croissance mesurés chez *A. mangium* peut donc s'expliquer par l'action simultanée et l'interdépendance des activités fixatrices et assimilatrices de l'azote pendant les 19 mois de croissance, ces deux activités étant complémentaires et synergiques.

L'aptitude d'*A. mangium* à fixer l'azote en conditions sylvicoles est

TABLEAU V

POURCENTAGE D'AZOTE TOTAL CONTENU DANS LES FEUILLES D'ACACIA MANGIUM ET D'EUCALYPTUS UROPHYLLA DANS LES DIFFÉRENTES PARCELLES DE L'ESSAI, 19 MOIS APRES TRANSPLANTATION AU CHAMP

	% N chez <i>Acacia mangium</i>	% N chez <i>Eucalyptus urophylla</i> ***
<b>Traitements « inoculation »*</b>		
Aust 13c	2,33 a	1,43 a
CB 756	2,25 a	1,36 a
Témoin non inoculé	2,24 a	1,42 a
<b>Blocs**</b>		
Bloc I	2,30 a	1,61 a
Bloc II	2,19 a	1,38 b
Bloc III	2,33 a	1,23 c

Dans chaque colonne, les valeurs (moyennes de 24 arbres) suivies par la même lettre ne sont pas significativement différentes d'après le test de Newman & Keuls à  $P = 0,05$ .

\* Tous blocs confondus.

\*\* Tous traitements « inoculation » confondus.

\*\*\* Les *Eucalyptus* d'un traitement inoculation donné n'ont pas été inoculés mais sont mitoyens des *A. mangium* réellement soumis à ce traitement inoculum et sont donc intégrés dans la même parcelle unitaire que ces derniers.





également illustrée, bien qu'indirectement, par le pourcentage d'azote total mesuré dans les feuilles des arbres de l'essai. En effet, le tableau V montre que le % N total mesuré chez *A. mangium* ne varie pas significativement (à  $P = 0,05$ ) en fonction du bloc considéré, tous traitements « inoculation » confondus, contrairement à celui mesuré chez les *Eucalyptus* ( $P < 0,05$ ). En revanche, le % N total contenu dans les feuilles ne varie pas (à  $P = 0,05$ ) en fonction du traitement « inoculation », tous blocs confondus, chez les deux espèces. Sur l'ensemble de l'essai, le % N total est d'ailleurs beaucoup plus élevé chez les acacias que chez les *Eucalyptus* puisqu'il atteint 2,27 % et 1,40 % respectivement. La baisse significative du % N total chez les *Eucalyptus* des blocs II et III par rapport à ceux du bloc I résulte d'une baisse concomitante de la fertilité des sols correspondants en éléments nutritifs (cf. tableau I). Parallèlement, la croissance des *Eucalyptus*, non reportée ici, est fortement affectée dans les blocs II et III puisque leurs hauteurs moyennes atteignent respectivement 5,02 et 5,36 m contre 6,96 m dans le bloc I (significatif à  $P = 0,01$ ) et leurs diamètres moyens respectivement 3,95 et 3,67 cm contre 6,22 cm dans le bloc I (significatif à  $P < 0,01$ ). Notons que cette baisse de croissance dans les blocs II et III a également été observée chez *A. mangium* mais de façon moindre (cf. tableau I). Ce phénomène est probablement dû à une meilleure nu-

trition azotée des acacias sur sols pauvres en raison de leur capacité à fixer l'azote atmosphérique, comme l'atteste l'invariabilité de la teneur de leurs feuilles en azote total.



En conclusion, ces résultats montrent que l'aptitude d'*Acacia mangium* à fixer l'azote en plantation est élevée puisque le pourcentage d'azote fixé contenu dans les feuilles atteint plus de 50 % en moyenne sur l'ensemble de la parcelle et sur un sol qui n'est pas particulièrement pauvre en azote. Ce potentiel fixateur d'azote est particulièrement élevé sur les placés les moins fertiles, situés dans le bloc III, et lorsque les arbres sont inoculés avec la souche la plus efficace, Aust 13c, puisque le pourcentage d'azote fixé atteint 90 % lorsque ces deux conditions sont réunies.

De nombreuses études sur l'évaluation de la fixation de l'azote ont déjà été réalisées à ce jour chez les espèces arborées mais la plupart d'entre elles ont été entreprises en conditions contrôlées et permettent seulement d'estimer le potentiel fixateur d'azote des espèces (DANSO *et al.*, 1992 ; PEOPLES, CRASWELL, 1992). De plus, une majorité de ces études utilisent la méthode de marquage (ou d'enrichissement) isotopique en  $^{15}\text{N}$ . A notre connaissance, l'estimation de la fixation de l'azote par la méthode de l'abondance isotopique naturelle  $^{15}\text{N}$

( $\delta^{15}\text{N}$ ) n'a été reportée *in situ* que chez des arbres poussant au sein de peuplements naturels mais jamais en conditions de plantation.

Une autre étude serait nécessaire pour établir un bilan azoté au niveau d'une plantation d'*A. mangium* et quantifier l'apport réel d'azote dans le sol provenant de la fixation symbiotique après décomposition de la litière.

**Remerciements :** les auteurs tiennent à remercier Dr. N. ZAKRA, du Département des Plantes Oléagineuses de l'Institut des Forêts (IDFOR/D.P.O.), qui leur a donné l'accès à la station de Port-Bouët, a procédé aux entretiens sylvicoles des parcelles, ainsi qu'à la collecte d'échantillons de sol à analyser. Ils remercient également l'Unité de Recherches Facteurs et Conditions du Milieu du CIRAD-C.A. pour les analyses de sol.

▷ Antoine GALLIANA, Bernard MALLET  
CIRAD-Forêt / Baillarguet  
B.P. 5035  
34032 MONTPELLIER CEDEX  
France

▷ Anatole N'GUESSAN KANGA,  
Guy-Modeste GNAHOJA, Pity BALLE,  
Bernard DUPUY  
IDFOR/Département de la Foresterie  
08 B.P. 33  
ABIDJAN 08  
Côte-d'Ivoire

▷ Anne-Marie DOMENACH  
Université de Lyon I  
Laboratoire d'Ecologie Microbienne  
C.N.R.S. URA 1977  
43 bd du 11 novembre 1918, Bât. 741  
69622 VILLEURBANNE CEDEX  
France

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AMARGER N., MARIOTTI A., MARIOTTI F., 1977.  
Essai d'estimation du taux d'azote fixé symbiotiquement chez le lupin par le traçage isotopique naturel ( $^{15}\text{N}$ ). Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Série D, 284 : 2179-2182.
- BARDIN R., DOMENACH A. M., CHALAMET A., 1977.  
Rapports isotopiques naturels de l'azote. II. Application à la mesure de la fixation symbiotique de l'azote *in situ*. Revue d'Ecologie et de Biologie des Sols, 14 : 395-402.
- BREMNER J. M., MULVANEY C. S., 1982.  
Nitrogen-total. In : Methods of soil analysis, part 2, A.L. Page éd. Madison, Wisconsin, Am. Soc. Agron., p. 595-624.
- DAGNÉLIE P., 1969.  
Théorie et méthodes statistiques. Gembloux, Belgique, Duculot, Tomes I et II.
- DANSO S. K. A., BOWEN G. D., SANGINGA N., 1992.  
Biological nitrogen fixation in trees in agroecosystems. Plant and Soil, 141 : 177-196.
- DE TAFFIN G., ZAKRA N., POMIER M., BRACONNIER S., WEAVER R. W., 1991.  
Search for a stable cropping system combining coconut and nitrogen-fixing trees. Oléagineux, 46 : 489-500.
- DIEM H. G., BEN KHALIFA K., NEYRA M., DOMMERGUES Y. R., 1989.  
Recent advances in the inoculant technology with special emphasis on plant microorganisms. In : Advanced technologies for increased agricultural production, U. Leone, G. Rialdi et R. Vanore éd., Genova, Italy, C.N.R.-U.S.G., p. 196-210.
- DOMENACH A. M., KURDALI F., BARDIN R., 1989.  
Estimation of symbiotic dinitrogen fixation in alder forest by the method based on  $^{15}\text{N}$  natural abundance. Plant and Soil, 118 : 51-59.
- DUPUY B., N'GUESSAN KANGA A., 1991.  
Utilisation des acacias pour régénérer les anciennes cocoteraies. Bois et Forêts des Tropiques, 230 : 15-29.
- GALIANA A., 1990.  
La symbiose fixatrice d'azote chez *Acacia mangium*-rhizobium. Thèse, université P. et M. Curie, Paris, France, 214 p.
- GALIANA A., CHAUMONT J., DIEM H. G., DOMMERGUES Y. R., 1990.  
Nitrogen fixation potential of *Acacia mangium* and *Acacia auriculiformis* seedlings inoculated with *Bradyrhizobium* and *Rhizobium* spp. Biology and Fertility of Soils, 9 : 261-267.
- GALIANA A., PRIN Y., MALLET B., GNAHOUA G.-M., POITEL M., DIEM H. G., 1994.  
Inoculation of *Acacia mangium* with alginate beads containing selected strains of *Bradyrhizobium* sp. under field conditions : long-term effect on plant growth and persistence of the introduced strains in soil. Applied and Environmental Microbiology, 60 : 3974-3980.
- GUNN B. V., MIDGLEY S. J., 1991.  
Genetic resources and tree improvement. Exploring and accessing the genetic resources of four selected tropical acacias. In : Advances in tropical acacia research, J. W. Turnbull éd., Canberra, Australie, ACIAR Proceedings n° 35, p. 57-63.
- MALLET B., 1990.  
Note sur dix années de recherches sur les symbioses forestières menées par le Centre Technique Forestier Tropical en Côte-d'Ivoire. Abidjan, Côte-d'Ivoire, C.T.F.T.-C.I., 13 p.
- MALLET B., GNAHOUA G.-M., 1989.  
Etude comparative de l'effet d'inoculations de différentes souches de rhizobium sur diverses provenances d'*Acacia mangium* et *Acacia auriculiformis* en pépinière et en plantation. Abidjan, Côte-d'Ivoire, C.T.F.T.-C.I., 21 p.
- MARIOTTI A., SOUGOUFARA B., DOMMERGUES Y. R., 1992.  
Estimation de la fixation de l'azote atmosphérique par le traçage isotopique naturel dans une plantation de *Casuarina equisetifolia* (Forst.). Soil Biology and Biochemistry, 24 : 647-653.
- PEOPLES M. B., CRASWELL E. T., 1992.  
Biological nitrogen fixation : Investments, expectations and actual contributions to agriculture. Plant and Soil, 141 : 13-39.
- SOUVANNAVONG O., GALIANA A., 1991.  
*Acacia mangium*-rhizobium symbiosis : selection and propagation of the host plant and the microorganism. In : Research on multipurpose tree species in Asia, D. A. Taylor et K. G. Mac Dicken éd. Bangkok, Thailand, Winrock International Institute for Agricultural Development, p. 216-222.
- VESSEY J. K., WATERER J., 1992.  
In search of the mechanism of nitrate inhibition of nitrogenase activity in legume nodules : Recent developments. Physiologia Plantarum, 84 : 171-176.
- VINCENT J. M., 1970.  
A manual for the practical study of root nodule bacteria. Oxford, Grande-Bretagne, Blackwell Scientific Publications, IBP Handbook No. 15.



## R É S U M É

## FIXATION DE L'AZOTE CHEZ ACACIA MANGIUM EN PLANTATION

*Acacia mangium* connaît actuellement une utilisation grandissante comme espèce de plantation en raison de sa croissance rapide sur des sols dégradés, notamment pauvres en azote. En effet, comme de nombreuses espèces appartenant à la famille des Légumineuses, *A. mangium* possède la capacité de fixer l'azote atmosphérique grâce à son association symbiotique avec des rhizobiums, bactéries du sol formant des nodules racinaires où est localisée l'activité fixatrice, et s'affranchit ainsi d'une carence du sol en azote. Une expérimentation au champ a été mise en place en basse Côte-d'Ivoire afin d'évaluer le pourcentage d'azote atmosphérique fixé par *Acacia mangium* en conditions de plantation. Cet essai a été réalisé sur la station de Port-Bouët qui repose sur des sols sableux quaternaires littoraux. Trois traitements d'inoculation avec rhizobium, répliqués dans trois blocs d'un dispositif à blocs complets randomisés, ont été testés : le premier correspond à des arbres inoculés avec la souche Aust 13c ; le second, à des arbres inoculés avec la souche CB 756 ; le troisième, à des arbres témoins non inoculés. Dix-neuf mois après transplantation des arbres au champ, nous avons mesuré la hauteur et le diamètre des arbres. Simultanément, nous avons prélevé des échantillons de feuilles pour estimer le pourcentage d'azote dérivé du N<sub>2</sub> atmosphérique (Nd<sub>fa</sub>%) fixé par *Acacia mangium*, qui a été mesuré par la méthode de l'abondance isotopique naturelle en <sup>15</sup>N. Nous avons observé un effet positif de l'inoculation avec la souche Aust 13c sur la croissance des arbres avec un accroissement significatif de 10 % en hauteur et de 15 % en diamètre par rapport à des arbres témoins non inoculés ou des arbres inoculés avec la souche CB 756. Le Nd<sub>fa</sub>% variait fortement, de 20 à 90 % selon les différents blocs ou les traitements d'inoculation considérés, et apparaissait inversement proportionnel à la fertilité du sol.

**Mots-clés :** *Acacia mangium*. Légumineuse. Fixation de l'azote. Arbre forestier. Rhizobium. Inoculation. Fertilité.

## A B S T R A C T

## NITROGEN FIXATION IN ACACIA MANGIUM PLANTATIONS

*Acacia mangium* is increasingly used as a plantation species because of its rapid growth on degraded soils, and on nitrogen-poor soils in particular. Like many species belonging to the Leguminosae family, *A. mangium* fixes atmospheric nitrogen as a result of its symbiotic association with rhizobia-soil bacteria forming root nodules where the fixing activity occurs.

A field experiment was set up in lower Côte-d'Ivoire to assess the percentage of atmospheric nitrogen fixed by *Acacia mangium* in plantation conditions. This trial was carried out at the Port-Bouët station, situated on sandy quaternary coastal soil. Three inoculation treatments with rhizobium, replicated in three blocks of a complete randomized block design, were tested : the first treatment involved trees inoculated with the Aust 13c strain, the second, trees inoculated with the CB 756 strain, and the third, uninoculated control trees. Nineteen months after transplanting the trees to the field, we measured the height and diameter of the trees. At the same time, we collected samples of leaves to estimate the percentage of nitrogen derived from the atmospheric N<sub>2</sub> (Nd<sub>fa</sub>%) fixed by *Acacia mangium*, which was measured using the method of natural isotopic abundance in <sup>15</sup>N. We observed a positive effect from the inoculation with the Aust 13c strain on the growth of the trees, with a significant increment of 10 % in height and 15 % in diameter in comparison with the uninoculated trees or the trees inoculated with the CB 756 strain. The Nd<sub>fa</sub>% varied strongly from 20 to 90 % depending on the different blocks and the inoculation treatments analysed, and appeared to be negatively correlated with the soil fertility.

**Key words :** *Acacia mangium*. Legumes. Nitrogen fixation. Forest tree. Rhizobium. Nodulation. Fertility.

## R E S U M E N

## FIJACIÓN DEL NITRÓGENO EN LAS PLANTACIONES DE ACACIA MANGIUM

*Acacia mangium* es actualmente objeto de una utilización cada vez mayor como especie de plantación debido a su rápido crecimiento en suelos degradados, y fundamentalmente, pobres en nitrógeno. Como numerosas otras especies de leguminosas, *A. mangium* posee la capacidad de fijar el nitrógeno atmosférico con motivo de su asociación simbiótica con los rhizobiums, bacterias del suelo que forman nódulos de raíces en que se localiza la actividad de fijación, superando así una carencia del suelo en cuanto a nitrógeno. Se ha llevado a cabo una experimentación sobre el terreno en la región baja de Côte-d'Ivoire, con objeto de evaluar el porcentaje de nitrógeno atmosférico fijado por *Acacia mangium* en condiciones de plantación. Este ensayo se ha llevado a cabo en la estación de Port-Bouët, en donde existen suelos cuaternarios arenosos litorales. Se han llevado a cabo tres tratamientos de inoculación con rhizobiums, repetidos en tres bloques de un dispositivo de bloques completos aleatorios, sometidos a prueba : el primero en árboles inoculados con la cepa Aust 13c, el segundo en árboles inoculados con la cepa CB 756 y el tercero en árboles testigo no inoculados. Transcurridos diecinueve meses tras la transplatación de los árboles en el terreno, se ha procedido a la medición de la altura y el diámetro de los árboles. Simultáneamente, se han tomado muestras de hojas para evaluar el porcentaje de nitrógeno derivado del N<sub>2</sub> atmosférico (Nd<sub>fa</sub>%) fijado por *Acacia mangium*, medido por el método de la abundancia isotópica natural en <sup>15</sup>N. Se ha observado un efecto positivo de la inoculación mediante la cepa Aust 13c en cuanto al crecimiento de los árboles, con un incremento significativo de un 10 % en altura y un 15 % en diámetro, por comparación con los árboles testigo no inoculados o los árboles inoculados con la cepa CB 756. El Nd<sub>fa</sub>% varía ampliamente, de un 20 a un 90 % según los distintos bloques o los tratamientos de inoculación considerados, y se presentan de forma inversamente proporcional a la fertilidad del suelo.

**Palabras clave :** *Acacia mangium*. Leguminosas. Fijación del nitrógeno. Árboles forestales. Rhizobium. Inoculación. Fertilidad.



## SYNOPSIS

## NITROGEN FIXATION IN ACACIA MANGIUM PLANTATIONS

ANTOINE GALIANA

In the last two decades, large-scale industrial plantations of *Acacia mangium* have been established in South-East Asia to provide wood pulp, sawn timber and wood for particle board. This species is also increasingly popular for use in land rehabilitation. In particular, *A. mangium* has a good potential for use as fallow alternating with perennial crops but it can be also associated with these latter in alley cropping systems. *A. mangium*, like a majority of leguminous trees, is symbiotically associated with rhizobia, soil bacteria which form  $N_2$ -fixing root nodules. Although arguments for the ability of legume trees to fix atmospheric  $N_2$  are often put forward by authors to explain their ability to restore the fertility of degraded soils, very few field studies have clearly demonstrated this view in trees. A field experiment was set up at Port-Bouët in Côte-d'Ivoire (West Africa) on quaternary coastal sandy soils to evaluate the percentage of nitrogen derived from atmospheric  $N_2$  (Ndfa%) in *Acacia mangium* grown in silvicultural conditions.

## MATERIALS AND METHODS

In this study, we analyzed the effects of inoculation with rhizobium and soil fertility, which varied from one block to another in this trial, on *A. mangium* growth and on its  $N_2$ -fixing activity. Thus, three inoculation treatments with rhizobium, replicated in three blocks of a complete randomized block design were tested: a first treatment was composed of trees inoculated with Aust13c, a *Bradyrhizobium* sp. strain previously selected on the basis of its high efficiency on *A. mangium*; a second one consisted of trees inoculated with CB 756, a *Bradyrhizobium* sp. strain which was shown to be poorly efficient on *A. mangium*, whereas the third was the control treatment including the uninoculated trees. Before planting, block I was left under fallow with *Pueraria phaseoloides*, a perennial herbaceous leguminous species, whereas blocks II and III, located on N-deficient soils, were covered by the graminaceous species *Imperata cylindrica*. In this trial, all *A. mangium* plots (30 trees per plot) were separated from each other by three to four rows of *Eucalyptus urophylla* used as non-

fixing reference plants for the determination of Ndfa%. These *Eucalyptus* rows also acted as a buffer zone to prevent cross contamination of *Bradyrhizobium* sp. strains between blocks.

## RESULTS

□ Twenty-one months after planting, we observed a positive effect of the inoculation with strain Aust13c on tree growth with a significant increment of 10 % in height and 15 % in diameter compared to trees inoculated with CB 756 or uninoculated control trees, the two latter treatments being not significantly different. The block effect was also highly significant on tree growth, all inoculation treatments combined. The height of trees measured in block I was greater than that of trees located in blocks II and III, 7 % and 16 % higher respectively, whereas the basal diameter was greater in block II compared to trees in blocks I and III, 10 % and 18 % larger respectively, for all inoculation treatments combined. At the same time, immunological identification of the rhizobium strains introduced in the field trial corroborated these results as the most efficient Aust 13c strain survived and was maintained within the nodules of the inoculated trees.

□ The natural isotopic abundance ( $\delta^{15}N$ ) was measured in leaves of 21-month-old *A. mangium* from representative samples collected on 8 *A. mangium* and 8 adjacent *E. urophylla* per plot, giving a total of 72 *A. mangium* and 72 *E. urophylla* evenly distributed over the whole trial. The  $\epsilon^{15}N$  measured in the eucalypts, used as non-fixing reference trees, varied slightly from one plot to another within each block: from 3.6 to 4.3 in block I, from 3.4 to 3.7 in block II and from 2.33 to 2.55 in block III. Based on a mean isotopic enrichment factor  $\epsilon_{fix}$  equivalent to -0.3, measured from *A. mangium* inoculated with the Aust13c strain grown on a N-free nutrient medium, Ndfa% measured in the leaves of 21 month-old *A. mangium* varied strongly as it ranged from 19.1 to 87.9 % according to the blocks and to the inoculation treatments analyzed. Ndfa% measured in leaves of the *A. mangium* inoculated with the Aust 13c strain was higher (60.2 %) than

that of the trees inoculated with the CB 756 strain (53.5 %) or that of the uninoculated control trees (40.4 %), for all "Block" treatments combined, although these differences were not significant. Nitrogen fixation was markedly enhanced on N-deficient blocks since Ndfa% measured in leaves of the *A. mangium* located in the blocks II and III (where soil was covered with *Imperata* before planting) was 2.4 times higher than that of the trees from block I (with a higher soil fertility and initially covered with *Pueraria*) for all inoculation treatments combined (63 % and 64 % against 26.7 % respectively). The percentage of total nitrogen (N%) contained in the *A. mangium* leaves did not vary significantly in the different blocks of the trial unlike the N% of the eucalypt leaves. The lower values of N% measured in the leaves of eucalypts located in block II and III compared to that of eucalypts located in block I resulted from the decline of soil fertility, in terms of chemical composition, in the respective blocks.

□ The growth parameters measured on *A. mangium* were not correlated with Ndfa% but were correlated with mineral soil elements such as total nitrogen, ammoniacal nitrogen, total phosphorus, available phosphorus, and other soil components. Ndfa% was neither correlated with mineral elements nor affected by the different forms of soil nitrogen although nitrogen-fixing activity in leguminous plants is known to be inhibited by combined nitrogen. However, Ndfa% was negatively correlated with growth of the intercalary eucalypts which can be considered as good fertility indicators.



These data show that Ndfa% measured in *A. mangium* grown in silvicultural conditions is high as it reaches more than 50 % over the whole trial, in a soil which is not particularly poor in nitrogen. This  $N_2$ -fixing ability is especially high in the less fertile test plots, located in block III, and when the trees are inoculated with the most efficient Aust 13c strain, as Ndfa% reaches 90 % when these two conditions are met.