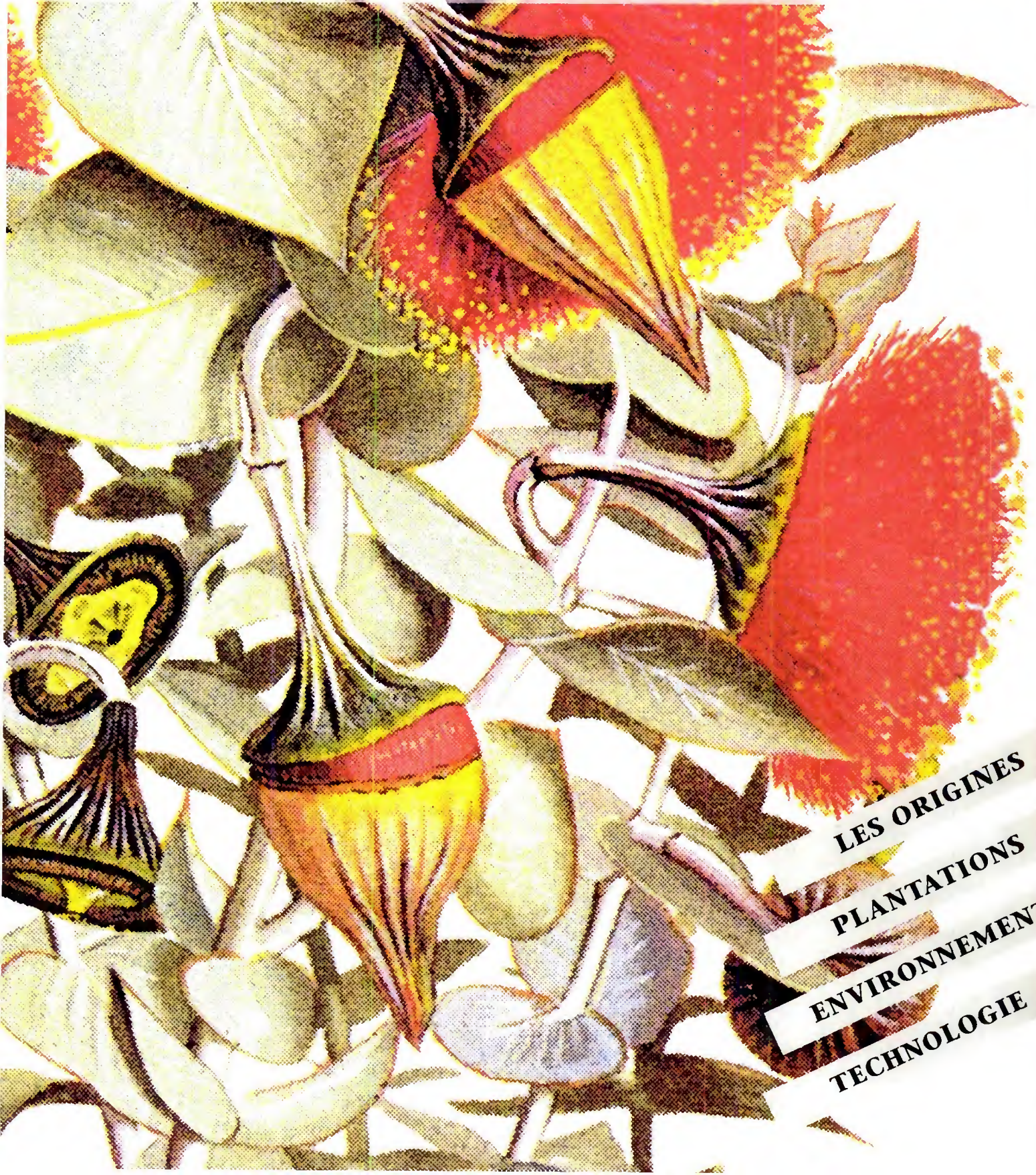


# LE EUCALYPTUS SPÉCIAL EUCALYPTUS L'AMBOYANT

Bulletin de liaison des membres du **RÉSEAU INTERNATIONAL ARBRES TROPICAUX**



N° 49 - mars 1999 - 30 FF



LES ORIGINES

PLANTATIONS

ENVIRONNEMENT

TECHNOLOGIE

## LE FLAMBOYANT

N° ISSN : 1241 - 3712

Directeur de Publication :  
Jean CLÉMENT.

Comité de lecture :  
Michel ARBONNIER,  
Claude BARBIER,  
Urbain BELEMSOBGO,  
Ronald BELLEFONTAINE,  
Alain BERTRAND,  
Georges Claver BOUNDZANGA  
François COLAS,  
Jean ESTÈVE,  
Jean-Jacques FAURE,  
Lucie de FRAMOND,  
Charles GUILLERY,  
Kouami KOKOU  
François LAMARQUE,  
Francis LECCIA,  
J. Joël LOUMETO  
Bernard MALLET,  
Didier MÜLLER,  
Mama NTOUPKA,  
Bourama NIAGATÉ  
Delphine OUEDRAOGO,  
Abdel Wedoud OULD CHEIKH,  
Jean-Pierre PROFIZI,  
Arthur RIEDACKER,  
Gérard SOURNIA.

Secrétaires de rédaction :  
Viviane APPORA, François BESSE.  
Maquettiste : Paula BOURGOIN.  
Impression : ARTE COM.

### SECRETARIAT DU RÉSEAU INTERNATIONAL ARBRES TROPICAUX

SILVA

21, rue Paul Bert  
94130 Nogent-sur-Marne  
FRANCE  
Tél. : (33-1) 48.75.59.44  
Fax : (33-1) 48.76.31.93  
e-mail : [silva@cirad.fr](mailto:silva@cirad.fr)

Le Flamboyant est publié par  
l'Association SILVA avec le soutien  
financier du Ministère français des  
Affaires étrangères, Coopération et  
Francophonie et diffusé  
gratuitement en Afrique.

## ABONNEZ-VOUS

au "Flamboyant"

4 numéros/an

Particuliers 80 FF  
Institutions 200 FF  
(contribution de solidarité)

Payable à l'ordre de SILVA par  
mandat postal ou chèque compen-  
sable en France.

# SOMMAIRE

Le Flamboyant n° 49 - mars 1999

## SPÉCIAL EUCALYPTUS

### ÉDITORIAL

F. BESSE, D. MÜLLER.....p 3

### DES PLANTATIONS

• Les plantations d'eucalyptus : évolutions récentes  
et perspectives par J. M. BOUVET .....p 4

### LES ORIGINES

• Eucalyptus d'Australie : habitats naturels et dynamique  
d'évolution par C. COSSALTER, P. VIGNERON, M.I.H. BROOKER .p 15

### IMPACT ÉCOLOGIQUE

• La végétation sous eucalyptus : cas des plantations  
de la région de Brazzaville (Congo) par J. J. LOUMETO.....p 21  
• La fertilité des sols sous eucalyptus : impact des  
plantations en savane autour de Pointe Noire (Congo)  
par J.P. LACLAU, J.P. BOUILLET, G. NIZINSKI, J.D. NZILA .....p 26  
• Propriétés physico-chimiques et biologiques des  
sols sous eucalyptus : cas des sols acides du Congo  
par J.D. NZILA, J.J. LOUMETO, I. MBOUKOU-KIMBATSA .....p 28

### RECHERCHE GÉNÉTIQUE

• Les eucalyptus en France : le défi de la tolérance au froid  
par J. N. MARIEN .....p 31

### TECHNOLOGIE DU BOIS

• Utilisation des eucalyptus en bois d'oeuvre : facteurs  
limitants, itinéraires techniques et potentialités  
de développement par J. GÉRARD, H. BAILLÈRES.....p 33  
• Production de charbon de bois en plantation  
d'eucalyptus par P. GIRARD .....p 39  
• Sciage et séchage de l'*Eucalyptus globulus* au Portugal  
par J.M. PAYA, J.A. dos SANTOS.....p 40

### À TRAVERS LE MONDE

• Les eucalyptus dans le delta du Mékong par C. BARBIER.....p 43  
• La dynamique séculaire des plantations d'eucalyptus  
sur les Hautes Terres malgaches par A. BERTRAND.....p 45  
• L'eucalyptus au Burundi : l'arbre à usages multiples  
par C. NDIKUMAGENGE.....p 49  
• Les eucalyptus de la forêt d'Eto : pour sauvegarder les forêts  
naturelles ? par K. KOKOU, E. GABDOE.....p 52  
• L'acier vert du Brésil : des eucalyptus pour produire  
de l'énergie, économiser des devises et réduire les  
émissions de gaz à effet de serre par A. RIEDACKER.....p 53

COUVERTURE : *Eucalyptus rodantha*. Extrait de «Eucalypts»

Texte : J.M. CHIPPENDALE et R.D. JOHNSON. Illustrations : S. KELLY.  
Éditeur : Thomas NELSON, Melbourne (Australie), 1983.



L'eucalyptus est un drôle de genre, chargé de tous les maux par les uns, plebisité par les autres, il est loin de faire l'unanimité...

Mais parler de l'eucalyptus, en traitant tous les eucalyptus comme un seul groupe, entier et homogène, est vraiment trop réducteur par rapport aux capacités d'adaptation et de production que peuvent offrir les espèces naturelles d'un genre qui en compte plus de 600, sans compter les hybrides naturels et artificiels et les clones.

En effet, ce genre originaire d'Australie a été introduit dans bien des pays du monde, tropicaux et tempérés (Afrique, Asie, Amérique, Europe du Sud...). Les eucalyptus y ont fait montre de qualités uniques, notamment en matière de faculté à rejeter ; les paysans du monde entier les ont adoptés pour répondre à des besoins aussi vitaux que le bois énergie et le bois de construction.

Le poids économique des eucalyptus, tant dans le domaine industriel que pour le monde rural est indéniable, aussi bien dans les pays de la zone tropicale que dans les pays du Nord.

Les résultats de la recherche précisent de mieux en mieux l'impact des eucalyptus sur l'environnement mais conduisent également à des règles de gestion adaptées aux différentes espèces, aux milieux dans lesquels elles sont plantées ainsi qu'aux produits attendus.

Autour d'une synthèse dense et complète, rédigée par Jean Marc BOUVET, vous trouverez une série d'articles illustrant chacun un aspect important des eucalyptus. Le Congo est fortement représenté parce que les eucalyptus y ont une longue histoire qui offre recul, diversité et abondance des recherches menées.

Les eucalyptus représentent toujours (il serait plus juste de dire de plus en plus) un atout indéniable pour le développement des pays du Sud, une alternative pour la protection des formations naturelles. L'association des compétences techniques des populations rurales, du poten-

tiel des eucalyptus et des résultats d'une recherche d'accompagnement efficace constitue un objectif à atteindre.

L'eucalyptus, un genre intéressant avec qui on doit compter, dont il faut chercher à exploiter les potentialités d'adaptation et de production, et qui peut nous réserver encore des surprises... La recherche n'en a donc pas terminé avec les eucalyptus.

La synthèse de J. M. BOUVET est présentée ici dans sa version courte et sans les références bibliographiques (plus de 80 références). La majorité des textes publiés dans ce numéro présente également des références bibliographiques en nombre et il n'a pas été possible de toutes les présenter. Aux lecteurs intéressés, nous pouvons faire parvenir le texte intégral de la synthèse de J. M. BOUVET accompagné de l'intégralité des références bibliographiques des articles présentés.

F. B. & D. M.

## AVIS AUX LECTEURS...

### Correspondance

Merci de mentionner dans vos courriers :

- votre nom en majuscule,
- votre prénom en minuscule,
- votre adresse sans omettre le pays.

### Changement d'adresse

Pour tout changement d'adresse, veuillez indiquer l'ancienne et la nouvelle adresse afin de faciliter la gestion du fichier des membres du Réseau.

*Des délais administratifs indépendants de notre volonté expliquent le retard avec lequel votre bulletin vous arrivera, veuillez nous en excuser.*

*Afin de réduire les frais d'expédition, nous envisageons d'envoyer le prochain numéro du Flamboyant sous film opaque (plutôt que sous enveloppe).  
Si vous y voyez un inconvénient, merci de nous prévenir.*

# LES PLANTATIONS D'EUCALYPTUS Évolutions récentes et perspectives

## 1. Introduction

Les plantations forestières, avec une superficie de 180 millions d'hectares et une forte productivité, jouent un rôle prépondérant dans la foresterie mondiale. Depuis les années quatre-vingts, leur forte extension a surtout été observée dans les pays en développement. Parmi les espèces forestières les plus utilisées, un genre se distingue particulièrement par son importance croissante dans les reboisements de la zone tropicale et sub-tropicale et de certaines zones tempérées. Il s'agit du genre *Eucalyptus*.

Originaire d'Australie et des Îles de la Sonde, sa découverte est relativement récente, fin du XVIII<sup>ème</sup> siècle. Mais ce n'est réellement qu'au début du vingtième siècle que les premiers reboisements ont été réalisés (FAO, 1982). Ceux-ci ont commencé timidement pour connaître une forte extension vers le milieu des années soixante. L'eucalyptus est devenu un genre majeur depuis la fin des années soixante-dix avec le développement de la foresterie clonale et la prise de conscience de son intérêt économique par des grands groupes industriels internationaux.

Cette expansion rapide a suscité de nombreuses controverses sur les effets de l'eucalyptus sur l'environnement et engendré des recherches dans différents domaines, notamment en sylviculture et en génétique. Plusieurs réunions à caractère régional ont eu lieu pour faire le point sur l'utilisation des eucalyptus et une abondante littérature a accompagné les derniers congrès du groupe IUFRO<sup>1</sup> "sylviculture et amélioration génétique des eucalyptus" de 1991, 1995 et 1997. Des éléments nouveaux sont donc disponibles pour analyser le développement actuel et prévoir le futur des plantations.

Dans ce cadre, il est apparu opportun de mener une réflexion sur l'évolution du genre dans la foresterie tropicale. L'étude qui suit aura donc pour objectifs :

- ◆ de faire le bilan des plantations : répartition, produits et type de gestion ;
- ◆ d'analyser les raisons de leur développement, à partir de l'évolution des politiques forestières, de l'évolution économique et sociale et des derniers résultats de la recherche en sylviculture et génétique ;
- ◆ de faire le point sur les aspects environnementaux, économiques et sociaux, dans le cadre d'une gestion durable de ces plantations ;
- ◆ et enfin d'étudier leurs perspectives d'avenir.

## 2. L'évolution récente des plantations d'eucalyptus

### 2.1. Les espèces de reboisement

Le genre *Eucalyptus* comprend environ 700 espèces. Le nombre introduit dans les différents pays depuis le début du siècle est d'ailleurs important (plus de 150). Malgré toutes ces introductions, moins d'une trentaine d'espèces est exploitée de

façon significative en plantation et quatre espèces (*E. camaldulensis*, *E. globulus*, *E. tereticornis* et *E. grandis*) occupaient à la fin des années quatre-vingts plus de la moitié des surfaces plantées (Eldridge *et al.*, 1993). Plusieurs remarques peuvent expliquer ce faible nombre :

- ◆ les espèces les plus utilisées ont une croissance initiale rapide avec un maximum de production moyenne annuelle entre cinq et douze ans, permettant une rotation courte et un retour rapide sur investissement ;
- ◆ la mise en place de grands reboisements donnant entière satisfaction à partir des premières introductions, cas de l'Inde avec *E. tereticornis*, les reboisements suivants se sont faits alors avec les mêmes espèces et souvent les mêmes sources de graines ;
- ◆ la mise en oeuvre tardive des programmes d'amélioration, souvent bien après les premiers reboisements, et donc l'exploration tardive de la variabilité inter espèces ;
- ◆ le développement rapide des plantations dans différents pays et en corollaire, l'utilisation d'espèces déjà connues dans les pays pionniers ;
- ◆ un développement du marché de la pâte à papier se focalisant sur certaines espèces et conduisant les nouvelles compagnies à ne s'intéresser qu'aux espèces porteuses (cas de l'hybride *E. urophylla* \* *E. grandis*) ;
- ◆ les forts développements des plantations dans la zone tropicale humide de plaine où un nombre limité d'espèces pousse correctement.

Ainsi, en moins de dix ans, deux espèces ont pénétré fortement le marché européen de la pâte, *E. globulus* de la péninsule ibérique, *E. urophylla* \* *E. grandis* du Brésil, alors que d'autres espèces pourraient fournir des produits tout aussi satisfaisants (Cotterill et Brolin, 1997).

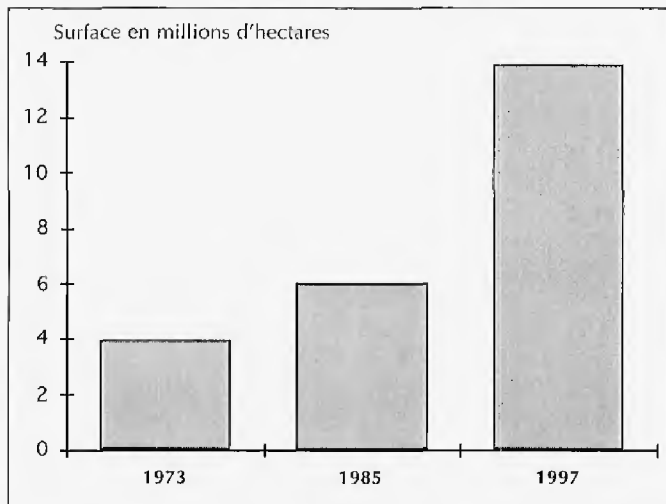
Pour conclure, soulignons que ce faible nombre d'espèces présente l'inconvénient d'augmenter les risques phytosanitaires et de provoquer une forte concurrence sur le marché de la pâte, le même matériel végétal étant alors proposé par les planteurs. Aussi, les responsables de certains groupes industriels envisagent de diversifier le fond génétique en augmentant le nombre d'espèces en plantation.

### 2.2. L'évolution des surfaces

La tendance générale est nette. On note une augmentation rapide avec une surface qui double tous les dix ans (figure 1). Si cette progression continue, 16 millions d'ha seront reboisés à l'an 2000. Cette augmentation n'est pas identique dans toutes les régions du monde. Le tableau 1 montre que l'Amérique du Sud et l'Asie ont connu un accroissement considérable entre 1973 et 1997, alors que la zone méditerranéenne et l'Afrique ont connu une progression beaucoup moins marquée.

Avec cette progression rapide, les plantations d'eucalyptus représentent près de 20% des surfaces reboisées dans la zone tropicale et sub-tropicale (figure 2). On note une utilisation des

Figure 1 : évolution des plantations d'eucalyptus des zones tropicales, sub-tropicales et tempérées



eucalyptus en plantation bien plus importante que celle des acacias, espèces qui sont, à maints égards, comparables (diversité, utilisation des produits, zone écologique).

### 2.3. Les produits et les utilisations

Les raisons qui ont poussé les forestiers à planter des eucalyptus ont évidemment évolué avec le temps. L'utilisation est cependant très diversifiée :

- ◆ bois d'énergie pour l'industrie (charbon de bois servant à l'industrie au Brésil (cf. p. 53),
- ◆ bois d'énergie pour les ménages, poteaux et bois ronds,
- ◆ bois de sciage (au Portugal cf. p. 42), bois de pâte (papier et fibre textile artificielle),
- ◆ huiles essentielles,
- ◆ lutte anti-érosive.

Certaines utilisations ont plus ou moins disparu alors que d'autres ont connu un développement important, surtout ces dernières années. Aucune statistique ne permet d'en connaître l'évolution précise. Il semble cependant que les plantations à vocation industrielle, principalement productrices de bois pour la pâte à papier, aient fortement augmenté par rapport aux plantations fournissant du bois de feu et du bois de service. Elles représentent actuellement 63% des surfaces (Pandey, 1997). La figure 3 montre que la proportion des plantations industrielles varie selon les régions. Elle est très forte en Amérique du Sud et en Europe, 74% et

Tableau 1 : évolution des surfaces en fonction des régions (statistiques de 1973 : FAO (1982) ; statistiques de 1995-97 : Pandey (1997) ; complété par des statistiques de 1996 et 1997 issues de différents documents IUFRO).

Région	Nombre de pays	Statistiques de 1973 (1 000 ha)	Statistiques de 1995-97 (1 000 ha)
Afrique	37	1090	1513
Méditerranée	7	700	961
Asie	12	482	4737
Pacifique	3	40	183
Amérique centrale	7	2	54
Amérique du Sud	13	1443	6200

Figure 2 : proportion des surfaces plantées en eucalyptus en zone tropicale par rapport aux autres feuillus et aux conifères (Pandey, 1997)

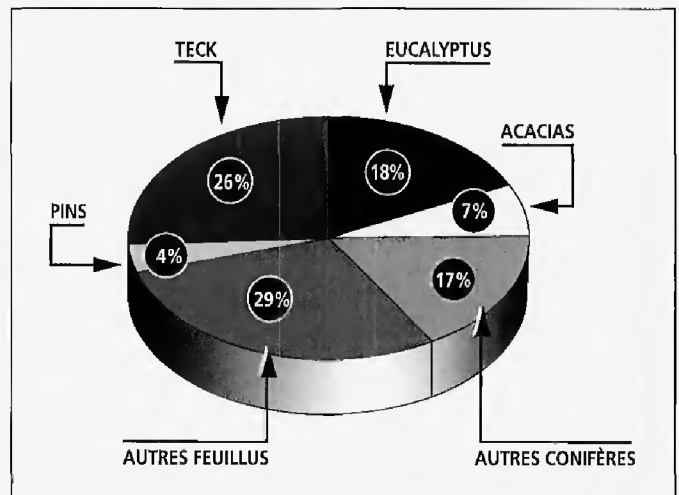
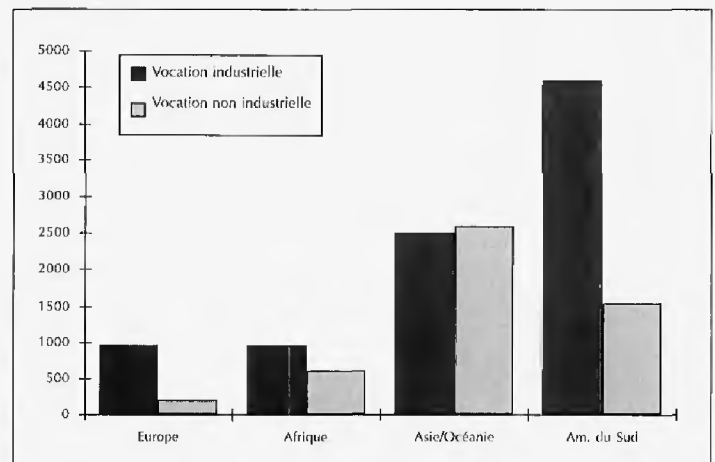


Figure 3 : répartition des surfaces des plantations d'eucalyptus à vocation industrielle, selon les différentes régions (Pandey, 1997).



90% respectivement, à peu près équivalente à celle des plantations non industrielles en Asie 42% et en Afrique (58%). Elle semble donc liée au niveau de développement des pays.

### 2.4. Les types de reboisement

Au cours des dernières années, les plantations d'eucalyptus ont été caractérisées par différents types de reboisements et modes de gestion.

#### Reboisements en milieu rural

Différentes formes de reboisements réalisés par des propriétaires individuels, des communautés ou dans le cadre d'organisations non gouvernementales ont été encouragées par des facilités financières, la fourniture de plants gratuits ou subventionnés, l'abattement d'impôts ou par une assistance technique. Dans ce contexte, les plantations d'eucalyptus ont offert de nombreux avantages par rapport à d'autres espèces : facilité de récolte des graines, facilité d'installation, rotation courte, rusticité, conduite en taillis, nouvelles variétés sans cesse améliorées. Cette approche a permis le développement important des plantations à diverses échelles et selon différents modes de gestion. À titre d'exemple, la

foresterie paysanne s'est fortement développée en Inde depuis le début des années quatre-vingts sous différentes formes : en parcelle, en lignes ou en association avec des cultures. Parmi toutes les espèces ligneuses utilisées, 90% sont des eucalyptus (Kumar, 1991). Ce phénomène a aussi été observé au Burundi (Vauron, 1992), à Madagascar (Bertrand 1989a), au Cameroun (Gautier, 1994b), en Uruguay (Basso *et al.*, 1997), en Chine, en Éthiopie (Turnbull, 1995), au Sri Lanka (Bouvet, 1996), *etc.*

## Reboisements intensifs à vocation industrielle

Il y a une vingtaine d'années, la priorité était donnée aux reboisements de grande échelle dans la zone tropicale avec pour objectif la production de bois pour l'industrie papetière ou pour la fourniture de bois de feu autour des grands centres urbains. Bon nombre de ces reboisements, dont certains en eucalyptus, n'ont pas réussi malgré une forte assistance technique et un financement conséquent. De mauvais choix techniques, une gestion peu efficace souvent effectuée par les services forestiers nationaux, des ruptures dans les financements, une mauvaise intégration des sociétés villageoises périphériques sont les causes les plus évidentes de ces échecs.

Aujourd'hui, les reboisements à grande échelle, avec pour objectif la production de bois de pâte, sont le fruit d'investisseurs privés dont certains sont des groupes papetiers, adoptant une gestion très intensive qui tient plus de l'agronomie que de la foresterie classique (tableau 2).

Cette approche a débuté il y a une vingtaine d'année au Congo et au Brésil (Bouvet *et al.*, 1997) et s'est poursuivie dans plusieurs pays et régions : Afrique du Sud (Bouvet et Bouillet, 1997), Asie du Sud-Est, Amérique du Sud et Australie (Bouvet *et al.*, 1995). La réalisation de ces plantations s'appuie sur des principes forts : pépinière à gestion intensive notamment pour la production de clones, cellule de recherche pour la production des variétés (clones ou semis) et éventuellement pour les opérations de sylviculture, intensification forte des façons culturales (écartements définitifs, fertilisations, utilisation d'herbicides) et de l'exploitation (robots d'abattage pour les compagnies les plus avancées).

## 3. Les raisons de l'essor des plantations d'eucalyptus

Le succès des eucalyptus comme genre exotique et leur essor sont dus aux évolutions économiques, politiques et sociales favorables, à leurs caractéristiques biologiques et aux progrès techniques en sylviculture et en amélioration génétique.

### 3.1. Des raisons d'ordre économique, politique et social

#### L'évolution de la consommation en bois

Le développement des plantations d'eucalyptus a suivi les évolutions mondiales en matière de consommation de bois. On note une augmentation de la production totale annuelle de bois rond (bois d'énergie, charbon de bois, bois rond industriel et non industriel) de 2 463 millions de m<sup>3</sup> en 1970 à 3 358 millions de m<sup>3</sup> en 1994 (FAO, 1997). Cette tendance est le résultat de plusieurs facteurs dont les plus déterminants sont l'augmentation de la population et celle des revenus moyens. Au cours des vingt-cinq dernières années la population mondiale a augmenté de 50% avec des pics élevés dans les pays en développement (90% en Afrique). Le revenu, mesuré par le produit intérieur brut, a aussi augmenté fortement : 97% dans les pays développés et 160% dans les pays en développement.

#### Bois de pâte

Au cours des vingt dernières années, l'augmentation globale de la consommation de pâte à papier est observée aussi bien dans les pays en développement que dans les pays développés, même si, pour ces derniers, on note un ralentissement (figure 4). Celui-ci peut s'expliquer en partie par la part plus importante prise par les papiers recyclés : 23% de la consommation totale de pâte en 1970 et 36% en 1994 (FAO, 1997).

Si 10% du bois de pâte provenait des feuillus en 1950, quarante ans plus tard la proportion est passée à 30% avec une part croissante pour les eucalyptus (Brown *et al.*, 1997). Cette utilisation progressive a ses origines au Portugal au début du siècle avec l'*E. globulus* (Rolo, 1988 cité par Turnbull, 1991). Depuis cette époque, la production de pâte à papier à base d'eucalyptus n'a cessé de croître, d'environ 2% par an entre 1979 et 1995 passant de 22 à 31 millions de tonnes (Wilson *et al.*, 1995) comparée à une production totale de 172 millions de tonnes de pâte en 1994 (FAO, 1997). Plusieurs raisons expliquent cette adoption par les industriels : les caractéristiques physiques des fibres (cf. paragraphe 2.3 p. 5) mais aussi leur prix de revient par rapport aux fibres longues des conifères. En effet, le prix du bois rentre pour 40% à 70% dans le prix de revient de la pâte, le reste revenant au transport et au processus de fabrication. Une étude a montré que le prix du bois nécessaire à la fabrication d'une tonne de pâte chimique variait entre 100 US\$ avec l'eucalyptus et presque 250\$ avec les bois les plus chers (Wilson *et al.*, 1995). Ceci prend de plus en plus d'importance depuis vingt ans compte tenu de la tendance à la baisse du prix de la pâte : en

Tableau 2 : caractéristiques de quelques compagnies de reboisement à vocation industrielle

NOM DE LA COMPAGNIE	PAYS	PLANTATIONS	USINE	PRODUCTION INDUSTRIELLE	MARCHÉ
BAHIA SUL	Brésil	65 000 ha de plantation clonale eucalyptus	- 1 usine de pâte et papier	200 000 tonnes papier 325 000 tonnes pâte	- 50% exporté - 81% exporté
MONDI PAPER COMPANY LTD	Afrique du Sud	- 650 000 ha de plantation dont 60% eucalyptus	- 3 usines - 3 usines - 1 usine	- 650 000 tonnes pâte kraft - 186 000 tonnes cartons - 500 000 tonnes papier	- 50% exporté - 25% exporté - 34% exporté
ECO-sa	Congo	- 43 000 ha de plantation clonale eucalyptus	- pas d'usine	- 500 000 m <sup>3</sup> de rondins	- 100% exporté

US\$ constant, la pâte blanchie de conifère selon le procédé "kraft" est ainsi passée de 700 US\$ en 1975 à 550 US\$ en 1995 (Wilson *et al.*, 1995).

Les industriels de la pâte ont aussi porté une grande attention à l'eucalyptus parce que les plantations peuvent assurer un approvisionnement soutenu de produits homogènes et "calibrés" :

- ◆ les progrès importants de l'amélioration génétique permettent des gains génétiques dans une période courte (Vigneron et Bouvet, 1997) et prennent en compte les impératifs des industriels pour la sélection des variétés (Da Fonseca *et al.*, 1995) ;
- ◆ la possibilité de créer des plantations clonales à grande échelle gérées de façon intensive, permet de fournir aux industriels des produits homogènes (Martin, 1987).

## L'évolution des politiques forestières et du régime de propriété

Au cours des années soixante-dix et quatre-vingts, les politiques forestières des pays en développement n'ont pas toujours été favorables à l'essor de la filière bois et aux plantations (Bertrand, 1989b). De nouvelles politiques ont permis aujourd'hui de faire évoluer cette situation. Des actions ont ainsi favorisé les plantations par le secteur privé dans les pays en développement : l'essor du système associatif (foresterie communautaire, foresterie sociale lancée en Inde dans les années soixante-quinze), l'implication des organisations non gouvernementales dans les projets de reboisement, les mesures incitatives de l'État (allègement des taxes foncières ou autres types d'impôts). Depuis le début des années quatre-vingt-dix, certains industriels ont également incité les petits propriétaires à réaliser des plantations (Ball, 1995).

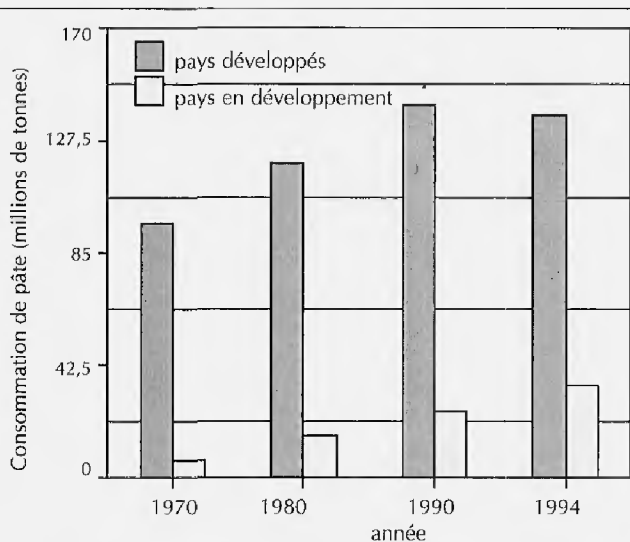


Figure 4 : évolution de la consommation en pâte à papier (issue du bois) de 1970 à 1994 (FAO, 1997).

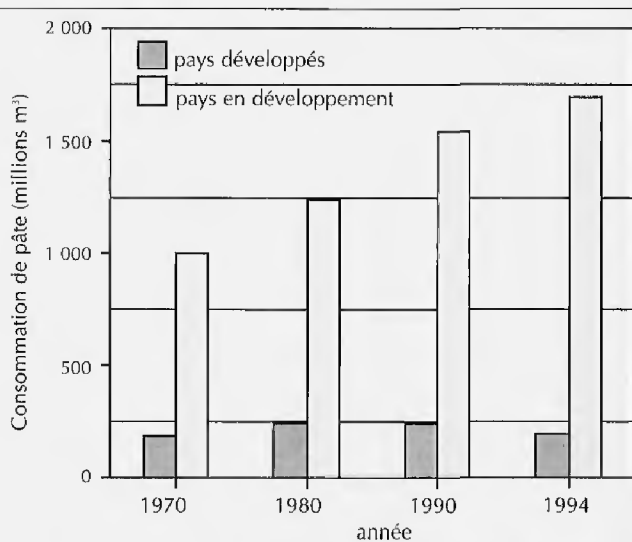


Figure 5 : évolution de la consommation en bois de feu et charbon de bois de 1970 à 1994 (FAO, 1997).

### Bois de feu et charbon de bois

La consommation s'est considérablement accrue au cours de 25 dernières années dans les pays en développement (figure 5) où deux individus sur cinq utilisent le bois comme source d'énergie principale pour leur usage domestique. Mais un milliard de personnes serait dans une situation de réduction de la consommation de bois due à l'absence de centres de productions et 100 millions dans des situations de manque (FAO, 1997). Dans ce contexte de forte augmentation de la demande en bois de feu, l'eucalyptus a pu se développer rapidement grâce aux qualités biologiques et sylvicoles qui seront évoquées aux paragraphes 3.2 et 3.3.

### Augmentation de la demande en bois de construction

Il est impossible de chiffrer la consommation en bois pour les poutres et charpentes, pour la construction de barrières ou pour les supports de lignes électriques, mais il est probable que la demande s'est accrue ces dernières années, surtout dans les pays en développement. Dans ce contexte, les eucalyptus sont particulièrement appréciés pour leur bonne forme et la bonne résistance mécanique.

En ce qui concerne le régime de propriété, même si on note de grandes tendances, en Asie et en Afrique les plantations sont surtout la propriété de l'État ou du secteur public alors qu'en Amérique du Sud elles sont plutôt la propriété de compagnies privées ou d'individus. On constate, depuis une dizaine d'années, l'augmentation du secteur privé dans les plantations des pays en développement pour deux principales raisons :

- ◆ les politiques forestières ont permis une sécurisation du foncier, autorisant les petits propriétaires à investir dans des reboisements ;
- ◆ l'État s'est fortement désengagé.

Ces mesures, très variables selon les régions et les pays, ont encouragé la plantation en développant la filière bois, en lançant des programmes de reboisement, en aménageant le territoire pour la maîtrise du foncier et en conservant la ressource, comme le souligne l'enquête d'Eurofor (Eurofor, 1994).

### L'évolution des mentalités

Le "Grand Débat sur l'Eucalyptus" est le nom donné à la controverse qui a entouré l'expansion des reboisements d'euca-

lyptus. Ce débat s'était focalisé sur les effets néfastes de l'eucalyptus sur l'environnement : sa forte demande en eau et son effet sur l'assèchement des sols, la suppression de la végétation de sous-bois favorisant l'érosion, la réduction de la biodiversité et la faible diversité des produits (pas de fruits ni de fourrage). De vives discussions ont eu lieu en Inde, Thaïlande et dans d'autres pays condamnant ce genre botanique. De nombreuses études et publications ont aussi abordé cet aspect (celui-ci sera repris en détail au paragraphe 4.1) et ont contribué à l'évolution des mentalités. Une conférence en Asie en 1993 a permis de clarifier le débat en aboutissant aux conclusions suivantes (Ball, 1997a) :

- ◆ les problèmes et conflits liés à l'eucalyptus procèdent plus de l'application non raisonnée de la politique forestière et d'un *a priori* que des espèces elles-mêmes ;
- ◆ les eucalyptus produisent une grande variété de biens et services et diminuent la pression sur la forêt naturelle ;
- ◆ les plantations ont été bénéfiques aux populations dans de nombreuses zones ; les problèmes dans certains endroits reflètent un manque d'aménagement du territoire ;
- ◆ les effets négatifs des eucalyptus sur l'environnement peuvent être minimisés par une bonne étude technique et une bonne gestion du milieu ;
- ◆ la politique de plantation doit être intégrée dans la législation forestière nationale pour le développement économique et social.

Ainsi, les eucalyptus ne sont plus, ou de moins en moins, considérés comme un genre à part mais, comme toutes les essences de reboisement, présentant des avantages et des inconvénients.

### 3.2. Des raisons d'ordre biologique et sylvicole

Sur le plan biologique, les eucalyptus se caractérisent par un fort potentiel adaptatif : une production importante de graines, la présence de bulbes à la base de la tige appelés "lignotubers" contenant des réserves, des pousses indéfinies et des bourgeons nus, une écorce épaisse résistante au feu. Le caractère frugal et rustique est aussi très marqué et peut s'expliquer par différents caractères (Grove *et al.* 1996, Keith 1997, Bell et Williams 1997) : un système racinaire très fortement développé avec des ectomycorhizes, un contrôle des rythmes de croissance permettant de réagir aux événements pédoclimatiques favorables ou défavorables, une bonne résistance à la sécheresse par un contrôle strict de l'ouverture des stomates, une bonne efficacité d'utilisation de l'eau et des éléments nutritifs, des transferts internes importants, une forte capacité de stockage des éléments nutritifs et de réallocation au moment de nouvelles périodes favorables.

Sur le plan sylvicole, certains caractères ont favorisé le développement des eucalyptus :

- ◆ la forte croissance dans le jeune âge : des croissances de 60 m<sup>3</sup>/ha/an à treize ans peuvent même s'observer sur des sols de forêt naturelles comme à Madagascar (Bouvet et Andrianirina, 1990) ;
- ◆ la multiplication par bouturage : elle a permis des gains génétiques élevés dans un minimum de temps ;
- ◆ la conduite en taillis : certaines espèces rejettent des souches pendant plusieurs rotations sans dégénérescence importante des souches ;

- ◆ la résistance aux parasites : en exotiques, les eucalyptus ont subi peu de dommages pour l'instant ; même les plantations clonales qui sont le plus exposées n'ont pas encore subi de dommages importants ; l'exploitation de la variabilité génétique par les sélectionneurs a permis de limiter les dégâts phytosanitaires en créant des variétés résistantes aux principaux pathogènes (Vigneron et Bouvet, 1997).

### 3.3. Des espèces se prêtant aux progrès techniques

Les progrès importants de l'amélioration génétique ont été obtenus depuis une dizaine d'années par l'exploitation de la variabilité inter- et intra spécifique très forte chez le genre. Ceci a conduit à un bon choix d'espèces et de provenances.

Un autre aspect intéressant chez les eucalyptus est la possibilité de création d'hybrides inter spécifiques, compte tenu de la faible distance génétique entre de nombreuses espèces (Bouvet, 1982) et de créer ainsi des hybrides adaptés aux zones marginales (Vigneron et Bouvet, 1997).

L'amélioration des techniques sylvicoles (travail du sol, fertilisation, écartements, entretiens chimiques) a permis des gains de productivité importants et contribué à accroître la rentabilité des plantations. L'accent est actuellement mis sur la nutrition des eucalyptus dans le cadre d'un développement durable (Attiwill et Adams, 1996 ; Bouvet *et al.*, 1997).

Les progrès en amélioration et en sylviculture et la multiplication végétative ont conduit à des gains très significatifs. L'évolution des productions moyennes obtenues au Congo en est l'illustration : les premières plantations produisaient 7m<sup>3</sup>/ha/an dans les années soixante, la production observée à la fin des années quatre-vingt-dix est de 20m<sup>3</sup>/ha/an.

## 4. Plantations d'eucalyptus et développement durable

Le concept de gestion durable est désormais au centre des discussions et des études forestières depuis la Conférence des Nations Unies pour l'Environnement et le Développement de Rio (CNUED, Rio de Janeiro, 1992). Dans ce cadre, les relations entre les plantations d'eucalyptus et le développement durable sous leurs aspects biologiques et socio-économiques paraissent intéressantes à aborder. Deux aspects seront analysés : les effets des eucalyptus sur l'environnement et les plantations dans un contexte de reboisement intensif et non intensif.

### 4.1. Plantations d'eucalyptus et environnement

Comme nous l'avons précédemment souligné, les eucalyptus ont subi de nombreuses critiques, étant accusés d'avoir des effets néfastes sur l'environnement (Poore et Fries, 1986 ; FAO, 1995). Des études récentes ont été entreprises et nous présentons ici une synthèse des principaux résultats.

#### Effet des plantations sur le régime hydrique

Deux questions sont généralement posées :  
(1) les eucalyptus consomment-ils d'avantage d'eau et ont-ils un effet plus important que les autres espèces sur le régime hydrique ?



**Tableau 3 : comparaison de la consommation en eau par kilogramme de biomasse produite et récoltée pour divers types de plantes. La consommation en eau est mesurée au travers de l'évapotranspiration** (Davidson, 1995).

Type de plante	Genre/espèce	Eau consommée pour la biomasse totale (litres/kg)	Coefficient de récolte	Eau consommée pour la biomasse récoltée (litres/kg)
Arbres fruitiers	- coton/café/ bananier	3200	0.25	800
Arbres forestiers	- conifères	1538	0.65	1000
	- acacia	1323	0.65	860
	- albizia	967	0.60	580
	- eucalyptus	785	0.65	510

(2) les eucalyptus utilisent-ils l'eau d'une manière plus efficace que les autres espèces, c'est-à-dire produisent-ils plus de bois par unité d'eau consommée ?

Concernant la première question, peu d'études ont été entreprises car l'expérimentation adéquate est toujours très lourde et coûteuse. Les résultats dépendent beaucoup plus de la station que des espèces. Cependant, des études complètes en Afrique du Sud ont montré que les eucalyptus diminuent fortement le débit des rivières et des mesures ont été prises pour laisser une zone non plantée le long des berges (Dye, 1996).

Concernant la deuxième question, le tableau 3 apporte quelques éléments de réponse. Les résultats sont peu détaillés mais montrent les eucalyptus plus efficaces dans la consommation hydrique que d'autres ligneux. Par ailleurs, cette efficacité semble d'autant plus forte que la disponibilité en eau est réduite (Kallarackal et Somen, 1997).

Cependant, leur fort potentiel de croissance dans des conditions de faibles précipitations peut diminuer le drainage profond et les réserves hydriques du sol ; ce qui n'est pas le cas d'autres espèces poussant plus lentement.

### Effet des plantations sur les sols

Si on compare un sol de savane avec un sol sous plantation non exploitée, on note une amélioration des caractères édaphiques par la création d'un humus de type *mull*. Par leur systè-

me racinaire puissant, les eucalyptus ont aussi un effet très bénéfique sur l'aération du sol d'autant plus marqué que les sols sont compacts ou peu structurés comme les sols sableux.

Dans le cadre de plantations exploitées, jusqu'à la fin des années quatre-vingts, peu d'études étaient disponibles. Il semblait se dégager que les eucalyptus exportaient moins d'éléments minéraux que d'autres genres comme les pins pour des révolutions comparables de vingt-cinq ans. Par contre, avec des rotations courtes

(moins de dix ans) et des croissances fortes, les exportations devenaient importantes et devaient être compensées par des fertilisations.

De nouveaux travaux de recherche sont venus préciser ces résultats. Le tableau 4 montre que la quantité d'éléments minéraux consommée par les eucalyptus est faible par rapport aux espèces annuelles, aux arbres fruitiers et à une espèce d'acacia (*Acacia mangium*) parmi les plus plantées au monde. La quantité d'éléments récoltés est aussi très réduite : elle équivaut en moyenne à 20% de la quantité consommée alors qu'elle avoisine 50% pour les fruitiers et se situe entre 30% et 50% pour les espèces annuelles.

L'étude des cycles biogéochimiques permettra d'affiner ces résultats. Des équipes de recherches tentent aujourd'hui de prendre en compte tout ou partie du cycle. Citons les équipes d'Aracruz au Brésil sur des sols riches et les équipes de Pointe-Noire au Congo sur sol pauvres (Bouillet *et al.*, 1997).

Les premiers résultats montrent, dans le cadre des plantations industrielles, qu'en ne débordant que le tronc écorcé, la quantité d'éléments nutritifs laissée sur la parcelle dans les résidus d'exploitation est du même ordre de grandeur que celle récoltée.

### Effet des plantations sur l'érosion

Les eucalyptus ne semblent pas convenir pour la lutte contre l'érosion particulièrement dans des conditions de sécheresse. La forte concurrence pour l'eau empêche dans certains cas la strate herbacée de pousser et favorise ainsi les ruissellements de surfa-

**Tableau 4 : comparaison de la quantité d'éléments minéraux, - azote (N), phosphore (P) et potassium (K) - consommée et enlevée lors de la récolte entre différents types de plantes** (Davidson, 1995).

RÉCOLTE		CONSOMMATION (kg/ha/an)			EXPORTATION PAR RÉCOLTE (kg/ha/an)		
Type de plante	Genre/espèce	N	P	K	N	P	K
Plantes annuelles	- riz	110	24	170	33	7	51
	- soja	190(1)	20	65	135	13	32
Fruitiers	- coton	135	20	90	75	12	22
	- café	110	9	120	40	3	48
Arbres fruitiers	- cocotier	90	14	150	40	7	100
	- palmier à huile	118	16	166	68	8	105
Arbres forestiers	- <i>Acacia mangium</i>	307(1)	10	110	50(1)	3	18
	- <i>Eucalyptus urophylla</i> (2)	76	6	43	11	1	12
	- <i>Eucalyptus PFI</i> (2)(3)	58	10	20	12	3	4

(1) : l'azote atmosphérique fixé par la symbiose bactérienne dans les racines est inclus.

(2) : la récolte correspond au volume commercial, c'est-à-dire ne comprend pas l'écorce et la partie de l'arbre au-dessous de 7,5 cm de diamètre.

(3) : tirés de Laclau (1997), la récolte correspond au volume commercial, c'est-à-dire ne comprend pas l'écorce et la partie de l'arbre au-dessus de 7 cm de diamètre.

ce. La conclusion doit être cependant nuancée. De nombreuses espèces d'eucalyptus multicaules, de petite taille, fortement adaptées à la sécheresse, n'ont été que très rarement utilisées dans la lutte contre l'érosion. Les espèces plantées en zone sèche ont pour objectif la production de bois. Elles nécessitent donc un entretien important dans le jeune âge éliminant toute la strate herbacée ce qui favorise fortement le ruissellement.

Par ailleurs, le houppier des eucalyptus utilisés en plantation, à feuilles de faible surface orientées verticalement, présente à la fois un avantage et un inconvénient. Dans des conditions hydriques convenables, le faible pouvoir filtrant du houppier permet à la lumière d'atteindre le sol et favorise le développement des graminées réduisant ainsi l'érosion en surface. Par contre, il réduit peu la quantité d'eau et l'énergie de la pluie : 75 à 90% des précipitations atteignent le sol selon les espèces et les écartements, ce qui favorise le ruissellement au sol. Pour ce dernier caractère, les eucalyptus sont parmi les genres les moins performants (Davidson, 1995).

En conclusion, les eucalyptus peuvent aider à la lutte contre l'érosion, sous réserve d'un choix d'espèces adéquat et d'une gestion des plantations adaptée (plantation en courbes de niveau, travail du sol minimum, écartement favorisant le sous bois, etc).

## Effet allélopathique

Il a été avancé que les eucalyptus ont des effets allélopathiques, c'est-à-dire, produisent des exsudats à partir des feuilles et des racines empêchant le développement d'autres plantes. Des expériences ont montré que des graminées poussaient mal dans des litières d'eucalyptus au Congo (Bernhardt-Reversat, 1986). D'autres études, dans les mêmes plantations, ont souligné au contraire un effet "catalytique" des plantations d'eucalyptus permettant aux espèces ligneuses et herbacées indigènes de se réimplanter (Loumeto et Bernhardt-Reversat, 1997). Aujourd'hui les spécialistes s'accordent à dire qu'avec des précipitations annuelles inférieures à 400 mm, les effets d'allélopathie existent, qu'entre 400 et 1 200 mm des aménagements doivent être faits si l'objectif est de favoriser le développement du sous bois et qu'au-dessus de 1 200 mm aucune précaution n'est à prendre.

## Effet des plantations sur la faune

Une plantation d'eucalyptus ne renferme pas autant de diversité faunistique qu'une forêt tropicale primaire très hétérogène, comme le montrent certaines études (Hjarse, 1997). Mais elle sera beaucoup plus riche qu'une savane, écosystème qu'elle remplace dans bien des situations. C'est le cas au Congo où l'étude sur l'effet "catalytique" des plantations d'eucalyptus a montré l'enrichissement en faune du sol par rapport à la savane (Loumeto et Bernhardt-Reversat, 1997). Par ailleurs, les 43 000 ha de peuplements de la plaine côtière du Congo ont permis aux antilopes, fortement chassées et inexistantes en savane, de recoloniser la région en créant un abri et un milieu favorable à leur alimentation. Des observations similaires ont été faites dans la zone de savane du Niari au Congo où un peuplement de 5 000 ha a été créé dans les années soixante ; des buffles, des singes et des antilopes sont régulièrement aperçus dans les peuplements.

## 4.2. Plantations à gestion intensive et vocation industrielle

Le cadre donné dans le paragraphe précédent doit nous permettre de mieux situer le caractère durable sur le plan biologique des plantations industrielles intensives. Mais la notion de durabilité ne s'arrête pas à cette seule composante, et il paraît intéressant d'aborder aussi les aspects socio-économiques.

### Production durable et soutenue des plantations industrielles

La question est de savoir si une plantation exploitée de façon intensive, avec des rotations courtes, des variétés à base génétique étroite (familles de pleins frères ou clones) sélectionnées pour leur forte croissance, est durable d'un point de vue biologique en produisant du bois à un niveau économiquement acceptable par l'industriel.

En fait, les problèmes sont différents selon le potentiel du milieu. On peut retenir que le caractère durable des plantations intensives repose d'un point de vue biologique :

- ◆ sur une exportation minimale d'éléments nutritifs : tous les résidus d'exploitation doivent rester sur la plantation (écorce, branches, feuilles) ;
- ◆ sur une sylviculture perturbant le moins possible le milieu : éviter le brûlis favorisant la perte d'éléments minéraux par volatilisation et détruisant la litière, éviter les labours favorisant l'érosion ;
- ◆ sur une bonne gestion des clones : changer de clones pour diminuer le risque d'apparition de facteurs limitants et de problèmes sanitaires ;
- ◆ sur un suivi de l'évolution du sol et du cycle hydrique pour procéder à des ajustements cultureux.

### Prise en compte et gestion de l'environnement par les industriels

Même si les mentalités évoluent, la foresterie intensive d'eucalyptus pour la production de bois d'industrie fait encore l'objet de nombreuses critiques de la part des médias, des groupes écologistes et des consommateurs. Certaines critiques sont fondées, des projets industriels éludant les problèmes environnementaux sont encore nombreux, mais on note un effort de prise en compte de l'environnement par les grandes compagnies de reboisement et de production de pâte d'eucalyptus avec les mesures suivantes :

- ◆ mise en place d'une cellule "environnement" pour garantir la viabilité environnementale du projet (plantation et usine) et développer la communication ;
- ◆ création d'un périmètre de reboisement incluant des formations naturelles ;
- ◆ création de réserves dans les zones où la forêt naturelle a été fortement détruite, comme au Brésil ;
- ◆ développement important des actions de recherche sur l'environnement.

La notion de respect de l'environnement ne se limite pas aux ressources, elle s'applique aussi aux processus industriels (système de mesure de la pollution, chaudières peu odorantes et d'épurateurs de gaz, épuration des effluents par décantation et traitement biologique) et les industriels ont fait de réels efforts de ce côté.

## Aspects socio-économiques

Les plantations industrielles d'eucalyptus et l'implantation des usines sont réalisées souvent dans des zones de faible dynamisme économique, zone d'élevage extensif au Brésil ou savanes stériles au Congo et en Afrique du Sud. Leur implantation a généralement un impact positif sur le développement économique régional. Concernant les aspects sociaux, différentes attitudes sont à signaler : certaines compagnies affichent un souci permanent de prise en compte des problèmes sociaux ; d'autres, qui avaient délaissé à l'origine cet aspect, adoptent progressivement, sous la pression des populations riveraines, une politique plus intégrée.

### 4.3. Reboisements non intensifs et systèmes agroforestiers

#### Aspects biologiques

##### Reboisements non intensifs

C'est sans doute dans un contexte de reboisements individuels ou communautaires non intensif que les contraintes biologiques à une production durable des plantations d'eucalyptus pourraient être les plus importantes. Nous avons souligné que les espèces couramment utilisées, même avec de bonnes dispositions pour économiser les éléments minéraux et l'eau, en sont de grands consommateurs du fait de leur croissance rapide. Les propriétaires désirent obtenir la production maximale pour un minimum d'intrants. Cette stratégie serait favorisée par des variétés efficaces peu consommatrices d'éléments minéraux par unité de biomasse produites et stables (peu sensibles aux variations du milieu), mais ce type de variété n'est pas encore disponible. En effet, les programmes d'amélioration ont surtout sélectionné pour la production maximale dans un contexte de gestion intensive. Le risque d'épuisement du sol par une exploitation avec des rotations courtes existe donc sur le moyen terme, d'autant plus que les plantations sont toujours réalisées dans les milieux les plus pauvres. Par ailleurs, dans les pays en développement les plus défavorisés, l'absence ou le manque de moyens de structures d'appui au développement rural ne permet pas aux petits reboiseurs de recevoir les conseils techniques adéquats. Il leur est alors difficile de faire un diagnostic de fertilité du sol et d'adapter leur mode de gestion des plantations aux capacités de production du milieu.

##### Systèmes agroforestiers

Dans les principaux types définis par Baumer (1990), systèmes agrosylvicoles, sylvopastoraux ou agrosylvopastoraux, l'eucalyptus est utilisé de façon limitée, particulièrement dans les zones arides et semi-arides. Certaines espèces locales, malgré une production ligneuse moins intéressante, sont souvent préférées. Elles peuvent fournir différents produits (fruits, fourrages, médicaments) ou présenter d'autres qualités (fixation d'azote, compétition moindre avec les cultures). Les expériences de systèmes agroforestiers dans lesquels sont intégrés des eucalyptus permettent de tirer les conclusions suivantes.

- ◆ Dans les plantations où sont mélangées les cultures vivrières et les eucalyptus, arbres répartis sur tout l'espace ou en haie-vive, on note une forte compétition entraînant une diminution de la production agricole. Sauf quelques cas particuliers (Sunder, 1995), cette association n'est pas durable sur l'ensemble de la rotation des arbres, en particulier dans les zones arides (Saxena, 1995).

- ◆ Dans les systèmes agroforestiers où se succèdent dans le temps sur un même espace la culture vivrière et l'eucalyptus, comme le système *taungya*, les résultats sont meilleurs. Ce dernier consiste à conduire l'association culture vivrière et plantation pendant la première ou les deux premières années, puis à laisser la plantation évoluer seule lorsque la compétition est trop importante. La récolte est correcte les premières années et la pérennité de la plantation a été plusieurs fois démontrée (Peltier *et al.*, 1993) : les cultures des premières années garantissant l'entretien et la protection des jeunes plantations et une croissance suffisante pour mieux résister au feu.

- ◆ Les eucalyptus peuvent également être intégrés dans les jachères arborées. Les arbres sont cultivés jusqu'à la fin de la rotation puis récoltés, la parcelle étant ensuite utilisée pour la culture. Cependant, des études ont montré que certains acacias se révèlent plus appropriés, avec un meilleur recyclage des éléments minéraux, une meilleure dégradation de la litière et la fixation de l'azote atmosphérique (Harmand *et al.*, 1995).

- ◆ Les eucalyptus sont aussi utilisés comme brise-vent, soit en espèce pure soit en mélange. Les essais au Cameroun ont montré qu'avec une bonne gestion des brins, ils pouvaient améliorer la production agricole (Peltier *et al.*, 1993).

#### Aspects socio-économiques

Pour aborder ce sujet, certaines conclusions du colloque régional Asie/Pacifique sur les aspects sociaux, économiques et environnementaux des eucalyptus peuvent être citées (FAO, 1995) :

- ◆ les problèmes et conflits ayant pour origine l'eucalyptus découlent plus de l'application stricte de politiques gouvernementales sur les plantations et d'injustices sociales que des espèces elles mêmes ;
- ◆ les plantations d'eucalyptus sur des terres communales ou publiques ont fait la preuve de leur rôle social et de leur intérêt économique ; les problèmes sociaux apparus dans des situations similaires ont pour origine la non implication des populations dans la planification, la mise en place et la gestion des plantations, la non prise en compte des besoins des communautés locales et le non partage des revenus des plantations ;
- ◆ les politiques et législations en matière de plantations ne peuvent pas être formulées localement mais doivent tenir compte de la législation forestière nationale et de la politique nationale sur le plan économique et social.

### 4.4. Conclusion

Les plantations intensives d'eucalyptus gérées par des groupes industriels internationaux devraient progressivement s'inscrire dans une perspective de développement durable comme l'indiquent plusieurs points :

- ◆ la prise en compte et le suivi des effets écologiques des eucalyptus,
- ◆ la gestion des écosystèmes sur les périmètres de plantations dans un souci de sauvegarde et de suivi de la biodiversité,
- ◆ la prise en compte des effets environnementaux de l'outil industriel pour les groupes papetiers intégrés,



◆ la prise en compte des aspects socio-économiques en faisant participer les populations riveraines au développement industriel par la mise en oeuvre de reboisements périphériques dont elles assurent la gestion et récupèrent les revenus.

Les problèmes de gestion durable de reboisements non intensifs d'eucalyptus se posent avec davantage d'acuité sur le plan biologique. Une attention particulière devra être portée à l'évolution des productions surtout dans les zones peu fertiles avec une exploitation à rotations courtes.

Les eucalyptus ont un impact socio-économique positif comme l'attestent les reboisements en milieu rural dans de nombreux pays. Les problèmes sociaux autour des eucalyptus demeurent, mais sont plus liés à la mise en oeuvre de mauvaises politiques qu'à l'espèce elle-même. Des efforts continuent à être faits par les États pour sécuriser le foncier, faire participer les populations locales à l'établissement des plantations et intéresser les nouveaux propriétaires. Ces mesures favorisent sans conteste la pérennité des reboisements. Les questions sociales ne doivent toutefois pas occulter l'importance de l'adéquation espèce/site et de l'étude des débouchés.

## 5. Perspectives

Avec un accroissement de la population de 5,7 milliards d'individus aujourd'hui à 7 milliards en 2010, la consommation annuelle de bois devrait passer de 3 210 millions de m<sup>3</sup> à 3 836 millions de m<sup>3</sup> (FAO, 1997). Les plantations joueront un rôle de plus en plus important dans les programmes forestiers pour répondre à cette demande. Les derniers rapports sur les perspectives de reboisement des pays en développement montrent que la plupart des pays possédant déjà de grandes plantations envisagent de doubler les surfaces d'ici 2010 (FAO, 1997). Pour les pays développés, il s'agira plus de replantations que de nouvelles extensions.

L'évolution des quinze dernières années laisse entrevoir une forte augmentation des surfaces plantées, notamment en Asie. Si le rythme de 2,7 millions d'hectares par an de nouvelles plantations observé entre 1980 et 1995 dans les pays tropicaux se poursuit, la surface doublera dans ces zones d'ici 2020. Ce para-

*Ilôt de culture maraîchère dans une plantation d'eucalyptus en milieu paysan sahélien (terrains mis en culture et entretenus par la communauté rurale de Mbayène, Sénégal). Photo : V. APPORA.*

graphe a pour but d'analyser les principaux facteurs qui pourraient influencer les plantations d'eucalyptus et être à l'origine de leur développement.

### 5.1. Évolution de la demande en bois

Les perspectives de consommation en bois de feu et charbon de bois sont favorables au développement de l'eucalyptus. On note en effet une tendance à l'augmentation en Afrique, Amérique du Sud et Asie, régions regroupant des pays en développement à faibles revenus et à forte croissance démographique.

Les perspectives en matière de consommation en bois de pâte sont aussi très favorables au développement de l'eucalyptus car on note un accroissement de la consommation dans toutes les régions de la planète. La consommation mondiale de 150 millions de tonnes de pâte en 1994 devrait croître jusqu'à 172 millions en 2010.

Concernant la consommation en bois de sciage, traverses et bois pour la fabrication des panneaux, une augmentation importante est attendue dans la plupart des régions. Les eucalyptus n'occupent que très faiblement ce domaine mais une forte volonté des industriels de promouvoir l'eucalyptus dans ces domaines se fait jour.

### 5.2. Évolution de la fertilité des zones de plantations

La pression sur les terres fertiles autour des villes sera très forte dans les pays en développement avec un doublement de la population urbaine d'ici 2010. Ces derniers, face à de nombreuses contraintes, ne pourront pas suffisamment intensifier l'agriculture et l'élevage pour répondre à la demande d'ici la moitié du siècle prochain. Deux phénomènes sont à prévoir : un appauvrissement des terres, les rendant impropres à l'agriculture et à une foresterie à base d'espèces locales, ainsi qu'un accroissement de la déforestation (fronts pionniers de cultures pérennes, élevage, cultures itinérantes).

Que restera-t-il alors pour les plantations péri-urbaines dont les besoins augmenteront : vraisemblablement les zones les plus pauvres, épuisées par plusieurs cycles de cultures vivrières et les phénomènes érosifs. Dans ces conditions, les eucalyptus dotés de caractères biologiques adaptés aux situations difficiles devraient être parmi les espèces les plus demandées par les planteurs.

### 5.3. Actions globales en faveur des plantations

D'autres facteurs généraux provenant des décisions sur la gestion des formations naturelles et la sauvegarde de l'environnement peuvent favoriser le développement des plantations et donc celles d'eucalyptus.

## Déforestation et plantation

Il apparaît illusoire de bloquer la déforestation. L'aspiration au développement économique et social est partagé par une population toujours plus nombreuse et dans ces conditions la déforestation apparaît comme une tendance lourde. L'attitude la plus évidente dans le court terme est d'essayer de limiter et d'organiser cette déforestation. Remplacer et réhabiliter les forêts dégradées et réduire la pression sur les formations naturelles par un accroissement des plantations d'espèces à croissance rapide est une composante sur laquelle tout le monde s'accorde. Cette idée a fait l'objet d'une demande dans la déclaration d'Antalya lors du XI<sup>ème</sup> Congrès Forestier Mondial.

## Le stockage du CO<sub>2</sub>

Les actions pour la réduction de l'émission des gaz à effet de serre favoriseront les plantations forestières. Trois stratégies sont envisagées : (1) la conservation du stock actuel dans les formations naturelles par une meilleure gestion et conservation, (2) l'accroissement du stock en augmentant les surfaces forestières, la productivité des forêts et leurs produits, (3) la substitution des énergies fossiles par le bois-énergie et la substitution des produits coûteux en énergie (acier, aluminium) par des produits ligneux industriels. Les deux premières stratégies pourront être influencées par le secteur forestier, la troisième dépendra plus des décisions économiques des gouvernements mais apparaît la plus efficace sur le long terme. Certains groupes industriels commencent eux aussi à s'intéresser aux plantations de bois énergie à base d'eucalyptus.

## Réhabilitation et gestion des bassins versants

Les eucalyptus continueront à jouer un rôle important dans la restauration des terrains de montagne et l'aménagement des bassins versants des zones tropicales d'altitude. Plusieurs pays tropicaux souffrent de problèmes écologiques et sociaux importants dans ces zones et les chiffres relatifs au déboisement des forêts de montagne en zone tropicale sont alarmants (Fernandez, 1997). Plusieurs espèces d'eucalyptus sont adaptées à ces conditions climatiques et présentent un fort potentiel sur le plan écologique et social : système racinaire puissant, capacité à rejeter de souche, facilité d'adaptation dans des conditions édaphiques difficiles et produits diversifiés.

## 5.4. Évolution des politiques commerciales

Depuis la fin des années quatre-vingts, un débat international se déroule sur l'écocertification forestière.

Malgré l'émergence des initiatives en matière de certification dans l'industrie de la pâte et du papier, peu d'analyses semblent disponibles pour évaluer l'impact. L'étude de Kiekens (1997a) tente cependant d'aborder les problèmes auxquels peut faire face, à moyen terme, le commerce de la pâte et du papier au niveau européen. Trois types de problèmes apparaissent : (1) la pression des organisations non gouvernementales telles que le World Wildlife Fund ou Greenpeace, membres de l'association FSC, auprès des instances européennes et de l'opinion publique pour que les produits non certifiés par le FSC ne soient pas acceptés, (2) la mise en oeuvre d'écolabels sur les produits au niveau européen renforçant le rôle de l'écocertification, question déjà complexe en Europe avec des schémas nationaux et un schéma européen, (3) un blocage des produits non certifiés par des cartels d'acheteurs coordonnés par les ONG membres du FSC.

Les nombreux problèmes que pose l'écocertification au niveau européen et mondial conduisent à remettre en cause l'intérêt d'un tel système (Kiekens, 1997b). Cependant, pour le court terme, compte tenu des exportations d'eucalyptus vers les pays développés, il est probable que des mesures soient prises par les compagnies forestières pour rester concurrentielles sur le marché de la pâte. Ainsi, la compagnie ECO-sa au Congo envisage une démarche d'écocertification de type ISO car ses principaux clients sont en passe d'être certifiés.

## 5.5. Évolution des politiques forestières

Les politiques forestières pour les prochaines années iront dans le sens déjà amorcé lors des années quatre-vingt-dix (FAO, 1997).

◆ En Amérique latine et Caraïbes, la tendance se poursuivra vers un désengagement partiel de l'État, la délégation des responsabilités au niveau régional, la réduction des personnels du secteur forestier public et l'émergence des entreprises privées. De plus, des subventions continueront à être allouées pour développer les plantations. Une place plus forte sera donnée aux agriculteurs, aux populations et communautés locales pour leur faire bénéficier des revenus des forêts.

◆ En Asie et Océanie, la plupart des forêts sont sous le contrôle de l'État mais les tendances vont se poursuivre dans le sens d'une décentralisation vers des pouvoirs locaux, des groupes d'utilisateurs et des communautés rurales. Le secteur privé exerce une forte influence dans cette région et des investissements se poursuivent dans les plantations industrielles. La transition vers des économies de marché pour certains pays (Chine, Vietnam, Laos) devrait y favoriser les opérations de reboisement. Par ailleurs, la plupart des pays ont réorienté leur politique forestière et leur stratégie en droite ligne des recommandations de la CNUED de 1992 et de l'Agenda 21, attitude qui pourrait avoir aussi un effet bénéfique sur les plantations.

◆ En Afrique, le désengagement de l'État a contraint les autorités forestières à adopter de nouvelles politiques. Des efforts sont encore nécessaires pour réformer le système foncier, le système de crédit et d'autres aspects législatifs. Par ailleurs, des garanties de stabilité politique sont attendues pour que des investisseurs privés étrangers s'engagent plus fortement dans les opérations forestières.

Comme ceci a été souligné dans le rapport de synthèse du thème "reboisement et plantation" du XI<sup>ème</sup> Congrès Forestier Mondial, les politiques qui favoriseront le plus les plantations seront celles qui élaboreront des législations claires sur l'utilisation des terres et sur les questions de revendications des terres lors de programmes de reboisement. Par ailleurs, l'expansion des plantations dans les régions en développement sera accompagnée de changements dans la mise en oeuvre des programmes avec :

- ◆ la nécessité de consulter et de faire participer toutes les parties concernées,
- ◆ une plus forte intégration de l'arbre dans les systèmes agricoles pour fournir les besoins domestiques et éventuellement les bois pour l'industrie.

## 5.6. Orientations de la recherche

L'étude des cycles biogéochimiques pour comprendre le fonctionnement des écosystèmes forestiers simples sera parmi les priorités des toutes prochaines années. Elle permettra de définir de façon objective les risques de carence en éléments nutritifs associés aux plantations d'eucalyptus en milieu pauvre et en conséquence les bases de gestion durable des plantations. L'exploration de la variabilité génétique inter et intra spécifique est loin d'être terminée et des perspectives de gains sont encore très importantes pour les programmes avancés mais surtout pour les programmes nouveaux. La génétique et la sélection variétale joueront un rôle central pour la production de matériel végétal assurant l'adéquation variété/site/produit.

Mais, dans une perspective à moyen terme, ce sont probablement les apports du génie génétique qui permettront aux eucalyptus d'occuper une place de choix parmi les espèces de plantation. Les recherches en génie génétique en foresterie sont évidemment en retard par rapport aux recherches sur les plantes de grande culture et les aspects commerciaux encore mal définis (Bouvet, 1997b), mais déjà, certaines espèces forestières ont été transformées. Ainsi, les laboratoires de SHELL-Recherche présentent des eucalyptus résistants aux herbicides à base de glyphosate (Congrès du Brésil 1997) et sont prêts à les diffuser à grande échelle.

La transformation génétique est pour l'instant limitée à l'intégration de petites séquences d'ADN codant pour un caractère simple (Casse-Belbart, 1996), mais avec l'essor des "sciences du génome", les perspectives sont très grandes (Le Buanec, 1996 ; Sederoff, 1997). Il sera possible dans les vingt prochaines années d'isoler et de caractériser l'ensemble des gènes d'un organisme par une approche combinant robotique et informatique. Ces techniques ont déjà été appliquées sur des bactéries et sur le génome humain. Il sera alors possible de sélectionner des gènes désirables et de les intégrer dans des organismes non plus sous la forme de gènes isolés mais sous la forme polygénique permettant ainsi l'expression de caractères complexes. Dans ce cadre, les possibilités sur le plan génétique sont grandes. Il sera notamment avantageux de profiter du fond génétique de l'eucalyptus pour lui conférer de nouvelles qualités. Pour l'instant, les travaux de recherche de ce type sur les arbres forestiers n'en sont qu'à leurs débuts, mais il est probable que parmi les genres retenus, les pins et les eucalyptus soient présents. Les grandes compagnies de reboisement, en association avec des laboratoires de pointe, seront probablement impliquées dans ces recherches.

## 6. Conclusion générale

**L'expansion des eucalyptus ces dernières années, sous différentes formes et plus particulièrement dans des reboisements industriels à vocation bois de pâte, peut être expliquée par la conjonction de nombreux facteurs, mais le plus déterminant est sans doute la capacité de nombreuses espèces à pousser rapidement dans des conditions difficiles.**

**On a maintenant une idée plus juste des effets des eucalyptus sur l'environnement.** Malgré leur bonne efficacité dans l'utilisation de l'eau et des éléments minéraux, les eucalyptus à croissance rapide en sont de grands consommateurs et peuvent avoir un effet néfaste en milieu pauvre. Cependant, les conclusions rejoignent celles des années quatre-vingts et soulignent que les problèmes écologiques peuvent être évités par une conduite adaptée des peuplements. Par ailleurs, de nouvelles recherches abordent plus finement les thèmes essentiels pour la gestion future des plantations, notamment l'étude des cycles biogéochimiques : elles permettront de préciser la composante biologique du développement durable.

**Les préoccupations sur la gestion durable des plantations industrielles intensives devraient s'estomper.** Les conditions semblent réunies pour la mise en oeuvre d'une gestion assurant un meilleur contrôle de l'environnement et prenant en compte les aspects socio-économiques, particulièrement dans les régions pauvres. De même, les filières industrielles les plus polluantes devraient être progressivement améliorées et avoir un impact plus faible sur l'environnement. **Dans le cas des reboisements non intensifs, une attention particulière devra être portée à la pérennité des peuplements gérés en rotations courtes.** Les recherches devraient apporter des réponses pour garantir les productions suffisantes et ne pas pénaliser le développement rural des zones défavorisées.

Que ce soit en termes de consommation de bois, de disponibilité en terres, de mesures globales de sauvegarde de l'environnement ou de potentiel de gain génétique, **les perspectives de développement des eucalyptus pour les deux prochaines décennies sont tangibles.** Par leur croissance rapide en zone peu fertile et la diversité des produits, ils possèdent un réel avantage par rapport aux autres genres.

**Ces considérations ne signifient pas que tous les reboisements en zone tropicale et sub-tropicale doivent s'orienter vers les eucalyptus.** Les potentialités du genre doivent être utilisées à bon escient, en associant les aspects socio-économiques, en optimisant l'adéquation espèce/site/produit et en évaluant les risques phytosanitaires, particulièrement avec des variétés à base génétique étroite. Il sera notamment possible d'intégrer les eucalyptus dans des plantations d'espèces mélangées, en mélange pied à pied ou sous forme de mosaïques de petits blocs, approche qui pourrait caractériser les reboisements du futur (Kanowski, 1997). Il sera aussi préférable de diversifier les genres en réservant les zones les plus fertiles aux espèces locales ou aux espèces exotiques les plus nobles (le teck, les acajous, les limba etc.) et en intégrant les légumineuses pour améliorer la fertilité des sols dans le cas des plantations agroforestières.

Jean-Marc BOUVET  
CIRAD-Forêt

BP 701

97387 Kourou cedex

GUYANE

Email : jean-marc.bouvet@cirad.fr

# EUCALYPTUS D'AUSTRALIE

## Habitats naturels et dynamique d'évolution

### Introduction

Des eucalyptus que l'on retrouve sur la plupart des continents la littérature dit généralement qu'ils doivent leur remarquable plasticité à des pressions de sélection qui les ont maintenus, tout au long de leur évolution, dans des milieux à fortes contraintes, notamment sur des sols pauvres en éléments nutritifs.

À partir du miocène, l'assèchement des climats et la perte de fertilité des sols ont assez fortement caractérisé l'environnement australien. Toutefois, cela n'a pas pour autant déterminé un axe unique d'évolution. D'autres pressions de sélection ont prévalu, ce qui explique la grande diversité qui caractérise aujourd'hui le genre *Eucalyptus* tant au niveau des habitats et des formes que de sa phylogénie. Le genre *Eucalyptus*, dans sa dynamique actuelle, présente un large continuum de types évolutifs. On y retrouve des espèces qui ont conservé des caractères peu modifiés dits «de type primitif» et à l'autre bout du spectre des espèces dites

«de type évolué» chez lesquelles la plupart des organes ont subi de profondes transformations. La classification de Pryor et Johnson (1971), la plus récente, donne comme les précédentes une part prépondérante aux caractères liés à la morphologie de l'appareil reproducteur. La structure operculaire, en particulier, fut très importante dans la détermination des affinités et de l'appréciation du statut de chaque taxa. Dans leur souci de proposer des «regroupements naturels» les auteurs ont également examiné et pris en compte de nombreux autres caractères végétatifs tels l'anatomie du bois, la forme des cotylédons, la nervation des feuilles et les huiles essentielles pour ne citer que les plus importants. Mais, leurs travaux ont également débordé du cadre classique des études morphologiques en s'intéressant aux données mises à jour par l'écologie, la paléontologie, la génétique, la biologie florale et la chimie.

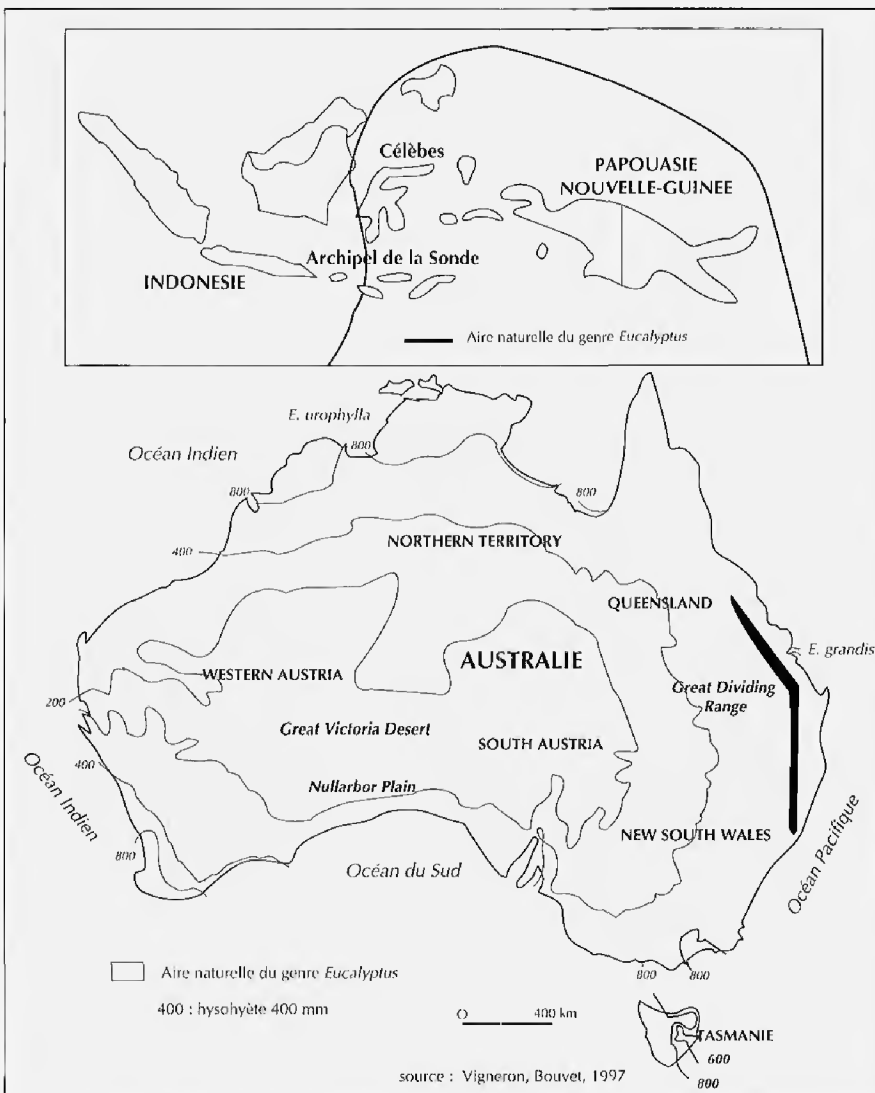
La systématique est une aide précieuse pour mieux comprendre l'immense diversité et les potentiels en ressources génétiques d'un genre aussi vaste que l'*Eucalyptus*. Cette connaissance n'a, jusqu'à présent, été que peu utilisée par les forestiers et les améliorateurs.

### Avantages biologiques et tempérament pionnier

Hormis les déserts centraux, les eucalyptus sont présents partout ailleurs sur le continent australien. La grande diversité des milieux occupés s'explique, en partie, par les caractères biologiques qui en font un groupe d'essences à la fois pionnières et climaciques.

Chez la plupart des espèces, les graines, produites en très grande quantité, sont de taille très modeste (jusqu'à 14 000 graines viables par gramme pour *E. deglupta*) et donc presque dépourvues de substances de réserve. Une fois au sol, elles germent dès que les conditions favorables de température et d'humidité sont réunies. Elles peuvent être conservées plusieurs années sans baisse importante de leur pouvoir germinatif. Leur abondance et leur taille constituent de réels atouts pour la dissémination bien que celle-ci soit essentiellement le fait de la gravité.

Les eucalyptus ne forment pas de bourgeons dormants protégés. L'apex produit en permanence de nouvelles paires de feuilles et la pousse est continue. Cet apex, non protégé, est fragile et sujet à toute sorte d'accidents : coup de soleil, broutage, attaques de ravageurs, etc. Lorsqu'il est détruit, un bourgeon axillaire prend immédiatement le relais, la croissance



*E. tessellaris*, sud Queensland. Photo : Ph. VIGNERON.



16

n'étant ainsi que très temporairement ralentie. En cas de défaillance du bourgeon axillaire, le bourrelet de tissu méristématique à la base de ce dernier est capable de développer de nouvelles pousses. Le remplacement des axes est donc perpétuellement assuré conférant ainsi à l'individu de fortes potentialités de croissance.

Les bourgeons adventifs non utilisés se retrouvent rapidement englobés dans le tronc ou les branches. Le tissu méristématique se développe radialement vers l'extérieur mais reste inhibé tant que la cime fonctionne normalement. Ces milliers de points végétatifs deviennent fonctionnels lorsque la cime, accidentellement ou non, disparaît. Cet énorme potentiel végétatif est mis à contribution après incendie, gel ou exploitation. Il permet notamment la conduite en taillis successifs en assurant un renouvellement régulier et performant de l'appareil aérien.

De nombreux eucalyptus développent en outre une structure protubérante naissant à l'aisselle des cotylédons qui chez l'individu adulte forme une excroissance au niveau du collet. Cette structure, totalement ou partiellement enfouie dans le sol est appelée *lignotuber*. Elle contient des réserves nutritives et est capable de développer des tiges feuillées. Les lignotubers permettent aux espèces les plus exposées aux incendies et au brouetement de survivre très efficacement. C'est le cas notamment chez les «mallees», un groupe des régions semi-arides du sud-ouest australien qui compte plus de cent espèces, toutes à port d'arbuste ou buissonnant. Il faut noter qu'à la germination, tous les «mallees» développent une seule tige. Le port typique «mal-lee» à plusieurs tiges n'apparaît qu'au stade mature.

La fleur d'eucalyptus, de par ses très nombreuses étamines qui lui donnent sa couleur jaune-crème et la présence de nectaires, est adaptée à la pollinisation entomophile. Quelques rares

espèces à filets staminaux rouges ou oranges sont aussi visitées par des oiseaux de petite taille. Les insectes pollinisateurs sont très variés et non spécialisés : petits coléoptères, diptères, hyménoptères (abeilles, mélipones, etc.). Ces insectes volants ainsi que la protandrie bien marquée de la fleur favorisent l'allogamie sans pour autant exclure l'autofécondation. Différentes études du régime de reproduction (Moran and Bell, 1983) ont montré que le taux d'autofécondation, mesuré au stade jeune germination, se situe aux alentours de 15 à 30%. L'absence de spécialisation fleur-agent pollinisateur permet d'assurer la reproduction dans des milieux biotiques très divers. Elle autorise notamment l'utilisation des eucalyptus comme exotiques. Par ailleurs elle favorise l'apparition d'hybrides interspécifiques. Certains hybrides interspécifiques obtenus par hybridation contrôlée se montrent plus performants que les espèces naturelles pour l'acclimatation à de nouveaux milieux à écologie marginale.

## Les grands groupes naturels : dynamique d'évolution et habitats

Les études taxonomiques de ces trois dernières décennies n'ont pas fondamentalement altéré la structure de la classification de Pryor et Johnson (1971) qui reste le document de référence. La révision la plus radicale a été la reconnaissance du statut de genre au sous-genre *Corymbia* suite aux travaux de Hill et Johnson (Hill and Johnson, 1995). Nous mentionnerons dans ce qui suit les affinités qui existent entre les eucalyptus, le genre *Angophora*, survivant d'une ancienne lignée et le nouveau genre *Corymbia*. Pour présenter les grands groupes naturels qui forment les eucalyptus et ses formes les plus proches nous avons choisi un ordre d'évolution croissant largement inspiré de Pryor et Johnson (1971) qui situe les «bloodwoods» (sous-genre *Blakella* et genre *Corymbia*) au niveau d'évolution le plus bas et reconnaît aux «stringybarks», «blackbutts», «ashes» et «peppermints» (section *Renantheria* du sous-genre *Monocalyptus*) le statut de groupes les plus évolués.

Le sous-genre *Blakella* (Paper-fruited Bloodwoods) ne compte qu'une dizaine d'espèces de dimensions modestes rencontrées exclusivement aux latitudes tropicales et subtropicales à régime pluviométrique estival. Une espèce, *E. papuana*, est présente sur le littoral sud de la Nouvelle Guinée. *E. tessellaris*, la seconde espèce la plus connue du sous-genre, a un habitat qui s'étend de la bordure de la forêt dense sur la côte est jusqu'au semi désert.

Le genre *Corymbia* (Woody-fruited Bloodwoods) présente de nombreux caractères communs avec le sous-genre *Blakella*. Ils sont tous deux plus proches du genre *Angophora* que des autres groupes taxonomiques à l'intérieur du genre *Eucalyptus*. Avec environ trente cinq espèces à aires de répartition essentiellement nordiques le genre est avant tout adapté aux régions tropicales bien qu'également présent dans les régions à pluies d'hiver, sur la côte sud est (*C. maculata*) comme sur la côte sud ouest (*C. hematoxylon*). Les «bloodwoods» (sous-genre *Blakella* et genre *Corymbia*) n'ont qu'une faible valeur commerciale du fait de dimensions généralement modestes et de la présence de kino (gomme rougeâtre) dans le bois (d'où leur nom commun). Seules quelques espèces, notamment *C. maculata* et *C. citriodora*, présentent un réel intérêt économique.



Classification sommaire des eucalyptus et principales espèces cultivées source : Vignerou, Bouvet, 1997.

Sous-genre	Nb esp.	Section	Nb esp.	Espèces principales	Principales zones d'utilisation
<i>Blakella</i>	8	<i>Lemuria</i>	8		
<i>Eudesmia</i>	17	<i>Quadraria</i> <i>Apicaria</i>	11 6		
<i>Gaubea</i>	2	<i>Curtisania</i>	2		
<i>Idiogenes</i>	1	<i>Gympyaria</i>	1	<i>E. cloeziana</i>	tropicale, subtropicale, humide
<i>Monocalyptus</i>	120	<i>Hesperida</i> <i>Renantheria</i>	17 103		
<i>Symphyomyrtus</i>	378	<i>Tingleria</i> <i>Transversaria</i>	1 19	<i>E. grandis</i> <i>E. robusta</i>	subtropicale, humide tropicale, subtropicale, humide
		<i>Bisectaria</i> <i>Dumaria</i> <i>Exsertaria</i>	122 38 38	<i>E. urophylla</i>	tropicale, humide
		<i>Maidenaria</i>	75	<i>E. camaldulensis</i> <i>E. tereticornis</i> <i>E. globulus</i>	tropicale, sèche tropicale, sèche subtropicale, tempérée, humide
		<i>Adnataria</i> <i>Sebaria</i>	84 1	<i>E. dalrympleana</i> <i>E. nitens</i>	tempérée subtropical, tempérée, humide
<i>Telocayptus</i>	4	<i>Howitaria</i> <i>Equatoria</i>	1 3	<i>E. deglupta</i>	tropicale, humide

*Eudesmia*, deuxième sous-genre «nordique», est constitué de moins de vingt espèces adaptées pour la plupart aux sols pauvres, sableux ou rocailleux. Son aire de répartition est assez semblable à celle du genre *Corymbia* avec une extension jusque sur la côte sud de l'État du Western Australia (*E. tetragona*) et la bordure nord de l'État du New South Wales (*E. baileyana*). Trois espèces occupent l'intérieur aride. La plupart des espèces du sous-genre occupent toutefois des régions à climat relativement humide : sud-ouest du Western Australia et surtout les plaines de la façade nord du continent. *E. tetradonta* et *E. miniata*, deux espèces dominant les forêts sèches des vieilles plaines du nord tropical, région peu affectée par les mouvements tectoniques et les changements de climat, sont remarquables pour leur aptitude à coloniser leur milieu (*E. tetradonta* a la faculté de drageonner) mais ont toujours donné des résultats décevants en essais d'introduction. Des pressions de sélection modérées due à la relative stabilité de leur environnement ont rendu ces espèces peu aptes à s'adapter à de nouveaux milieux. Pour le systématien, ce "retard évolutif" est inscrit dans leurs caractères morphologiques relativement peu modifiés.

*E. tenuipes* et *E. curtisii*, endémiques du sud est du Queensland, forment à eux deux le sous-genre *Gaubaia*. Ils représentent un curieux mélange de caractères primitifs et évolués et leur position phylogénique n'est pas élucidée. Ils ne sont pas utilisés.

Le sous-genre *Idiogenes* ne contient qu'une seule espèce, *E. cloeziana*, endémique du Queensland. À l'exception d'une station, son aire d'origine est cantonnée au versant est du Great

Dividing Range, la grande chaîne montagneuse parallèle à la façade est du continent australien. Cette aire qui s'étend sur environ 12 degrés de latitude recouvre des habitats très variés, tant du point de vue édaphique que climatique. Cette très belle espèce est utilisée comme exotique essentiellement pour la fourniture de poteaux en raison de ses qualités de rectitude et de durabilité.

Sur la base de leur distribution actuelle, les groupes naturels présentés ci-avant n'ont que peu investi les régions sud à pluies hivernales. Généralement de taille petite à moyenne, les différentes espèces qu'ils contiennent ont un intérêt commercial limité.

Les sous-genres *Symphyomyrtus* et *Monocalyptus*, au contraire, dominent le sud et l'est du continent. Seules les deux sections *Exsertaria* et *Adnataria* du sous-genre *Symphyomyrtus* ont des aires nordiques.

Comptant environ trois cent quatre-vingts espèces, le sous-genre *Symphyomyrtus* est de loin le plus important et le plus contrasté par la diversité des formes et la variété des habitats. Distribué sur tout le continent australien, la Tasmanie, la Papouasie Nouvelle Guinée et l'archipel de la Sonde, il occupe les zones les plus

arides comme les plus fraîches. Botaniquement complexe, ce sous-genre comporte, selon la classification actuelle, huit sections d'importance très diverses.

Le sous-genre *Monocalyptus* (environ 120 espèces) reste presque exclusivement cantonné aux régions les plus humides du sud du continent, à savoir l'extrême pointe sud-ouest, la côte sud-est et la Tasmanie.

L'importance de ces deux sous-genres, aussi bien en nombre d'espèces qu'en valeur commerciale, nécessite un examen plus détaillé de leur systématique.

La section *Adnataria* (Boxes et Ironbarks) du fait de sa grande expansion territoriale et de sa forte diversification (plus de 80 espèces) fait figure de groupe colonisateur à l'intérieur du genre. Ses espèces se sont adaptées avec le même succès dans les plaines latéritiques, sur les sols lourds et les dépôts alluviaux. La distribution actuelle des *Adnataria* suggère que le sous-genre aurait eu une très forte expansion à la fin du tertiaire, à l'époque des grands mouvements orogéniques responsables de la topographie actuelle du continent. Époque également marquée par une pluviosité abondante. La période de sécheresse qui suivit aurait provoqué l'extinction de plusieurs espèces ou leur retrait le long de cours d'eau et dans les zones périodiquement inondées (*E. microtheca*). L'aire de distribution de la section a la forme d'un vaste croissant dont les pointes atteignent les massifs du Kimberley au nord et la péninsule d'Eyre au sud. Pour un petit nombre d'espèces on note des avancées en direction des régions

semi-arides du centre, de la côte ouest et de la région de Southern Cross dans l'État du Western Australia. La section *Adnataria* regroupe des espèces de taille généralement modeste. Une des caractéristiques de la section est l'existence de *lignotubers* de taille importante, adaptation aux formations arbustives ouvertes, sujettes à de fréquents incendies. La section *Adnataria* fournit les meilleurs bois durs d'Australie utilisés pour les constructions lourdes, les poteaux et les platelages. Onze séries ont été constituées pour classer les différentes espèces. Sept correspondent au groupe des "Boxes", leur bois évoquant celui du buis. On y trouve quelques espèces commercialement importantes telles *E. moluccana* (Gum-topped box), atteignant vingt à trente mètres de haut, au bois très dur et durable, résistant aux termites et de densité égale à 1,1. Trois séries, *Meliiodora*, *Paniculatae* et *Pruinosae*, regroupent les "Ironbarks" à écorce sombre et dure, profondément fissurée, rugueuse et imprégnée de kino. Parmi les ironbarks les plus importants on peut citer : *E. crebra*, *E. jensenii*, *E. melanophloia*, *E. sideroxylon* (densité de bois égale à 1,17) et *E. meliiodora* (meilleure espèce mellifère du genre).

Les deux sections *Bisectaria* et *Dumaria* comptent à elles seules près des deux tiers des eucalyptus de type "mallee". Il est maintenant admis que ces deux sections ont pour lieu d'origine le sud-ouest du continent. Il est également fort probable que la formation du groupe des "mallees" soit en relation directe avec le retrait des flores du sud du continent en deux blocs est et ouest bien séparés au moment de la grande transgression marine du miocène sur l'actuelle plaine de Nullarbor. Les vastes dépôts de calcaire laissés au retrait de la mer au pliocène ont constitué une barrière infranchissable pour de très nombreuses espèces. Cependant cette barrière fût relativement perméable pour les "mallees" plus aptes à coloniser les sols sableux des régions désertiques et à résister au calcaire et au gypse. Ainsi le nombre d'espèces "mallees" dont l'aire de distribution s'étendit vers l'est fut bien plus important que celui des espèces du bloc est qui progressèrent vers l'ouest.

La section *Dumaria*, surtout présente dans la partie sud du continent, à pluies hivernales, est composée d'environ quarante espèces regroupées en cinq séries. Ce sont essentiellement de petits arbres, très peu utilisés sauf en bois de chauffe et éventuellement en bois de mine et de clôture.

La section *Bisectaria* a atteint un niveau d'évolution plus élevé que la section *Dumaria*. C'est le groupe le plus important, par le nombre d'espèces (plus de 120), du sous-genre *Symphomyrtus*. Cette section est confinée dans les régions tempérées. Elle est absente de Tasmanie. Son centre de spéciation réside probablement dans l'extrême sud de l'État du Western Australia puisqu'on y trouve dix séries à l'état d'endémisme sur les dix huit que comporte le groupe. La forme des cotylédons, bifides, a donné son nom à la section. La majorité des espèces sont des "mallees", sans grand intérêt si ce n'est pour le bois de chauffe. Leur bois a la particularité de pouvoir être très dense (1,1 pour *E. cladocalyx*). Certaines espèces sont tolérantes aux sols salins (*E. occidentalis*, *E. sargentii*).

Riche d'une vingtaine d'espèces, la section *Transversaria* semble être d'origine assez ancienne, témoin d'une période à plus forte pluviosité, favorable à l'émergence de formes géantes. Cette section occupe des habitats humides, à pluies hivernales (*E. diversicolor*, *E. cosmophylla*), estivales (*E. grandis*, *E. pellita*) ou régulièrement réparties. L'aire principale est confinée à la côte est et aux piedmonts (versant est) du Great Dividing Range,

de l'extrême est du Victoria jusqu'au Nord Queensland. Une espèce, *E. pellita*, est également présente en Irian Jaya. Aucune espèce n'a étendu son aire, à partir du Great Dividing Range, vers les plaines intérieures semi-arides ou les plaines d'origine ancienne du nord-ouest. Deux éléments sont nettement séparés de l'aire orientale de la section : *E. diversicolor* dans l'extrême sud-ouest du continent et, au nord, *E. urophylla* endémique des îles de la Sonde. Bien que regroupant aussi des espèces de petite taille, telles que *E. cosmophylla*, endémique des îles Kangaroo et du Mt Lofty Range, cette section est surtout connue pour ses formes géantes telles que *E. diversicolor* (seule espèce de la série *Diversicolores*), *E. deanii*, *E. saligna* ou encore *E. grandis* (série des *Salignae*) qui, pouvant atteindre soixante quinze mètres de haut, est probablement l'espèce des records de la production forestière (jusqu'à 80 m<sup>3</sup>/ha/an sur bons sols). Leur bois, variable, va du rouge dur et lourd (*E. diversicolor*) au pâle clair et léger d'*E. grandis*.

Taxonomiquement proche de la précédente, la section *Exsertaria* (Red Gums) s'est développée à partir des habitats montagneux de la façade orientale en colonisant les sols les plus pauvres jusqu'à acquérir l'aire de distribution la plus étendue du genre *Eucalyptus*. *E. tereticornis*, avec une aire qui s'étend sur toute la façade orientale du continent et se prolonge jusqu'en Nouvelle Guinée, est l'espèce de la section qui semble avoir conservé le plus d'affinité, de par sa distribution et son port, avec les *Transversaria*. La section *Exsertaria* doit son nom au caractère exserte des valves du fruit. La petite quarantaine d'espèces qui la compose est répartie en trois séries : *Albae*, *Tereticornes* et *Michaeliana* (cette dernière ne comporte qu'une seule espèce). Bien que probablement originaire des zones humides, cette section a su s'adapter à des zones où de longues périodes sèches et chaudes prévalent. Elle a ainsi conquis les pentes ouest du Great Dividing Range, la côte sud et sud-ouest ainsi que le quart nord du continent. Elle est présente de manière sporadique dans les grands déserts centraux à la faveur des plaines d'inondation temporaire et le long des cours d'eau permanents ou saisonniers (*E. rudis*, *E. camaldulensis*). La série *Tereticornes* comprend, entre autres, deux espèces très importantes. *E. tereticornis*, qui est un grand arbre très plastique et couramment utilisé en zone subtropicale, notamment en Inde. *E. camaldulensis*, quant à lui, est l'une des espèces les plus utilisées au monde pour la production de bois de service. Il supporte d'assez longues périodes de sécheresse. C'est l'espèce reine des zones sèches. Le bois généralement rouge (d'où le nom de Red Gums) est lourd, dur et durable.

La section *Maidenaria*, riche de plus de cinquante espèces (les Gums), au sud-est du continent, s'est développée parallèlement au sous-genre *Monocalyptus*. Comme lui, elles est adaptée aux climats humides et frais, voire montagneux (*E. rubida*) de cette partie du continent et présente un fort taux d'endémisme en Tasmanie. Cette section est constituée, dans une proportion assez élevée, d'espèces bien distinctes et très localisées. Les espèces ont pour la plupart des ports d'arbre, quelques fois très grands (*E. viminalis*, *E. globulus*), mais il existe quelques espèces buissonnantes (*E. vernicosa*). La série des *Ovatae* compte une quinzaine d'espèces, celle des *Viminales* plus d'une quarantaine. L'intérêt de cette dernière série réside dans la vigueur du développement végétatif et dans l'existence d'espèces tolérantes ou partiellement tolérantes au froid (*E. glaucescens*, *E. nitens*).

La section *Sebaria* est constituée par la seule espèce *E. microcorys*. Cette très belle espèce, atteignant exceptionnellement soixante dix mètres de haut et trois mètres de diamètre, pousse



Forêt naturelle à *E. pilularis*, Mont Mee, Queensland. Photo : Ph. VIGNERON.

préférentiellement sur les sols fertiles du littoral et des montagnes côtières humides du sud Queensland et de la moitié nord du New South Wales. Bien qu'ayant l'un des meilleurs bois durs multiusages de la côte, elle est peu utilisée en exotique du fait de sa croissance initiale lente et de sa faible plasticité.

Les anciennes sections *Howittaria* et *Equatoria* de la classification de Pryor et Johnson (1971) sont maintenant regroupées et forment le **sous-genre *Telocalyptus***, riche de quatre espèces, toutes tropicales. *E. deglupta*, la seule espèce présente au nord de l'équateur (îles Célèbes en Indonésie, Mindanao aux Philippines) marque la limite nord de l'aire du genre. Cette grande espèce est bien adaptée aux sols bien drainés des régions équatoriales à forte hygrométrie et pluviosité abondante et régulière. Il présente une croissance rapide mais est très sensible aux feux et rejette très peu de souche.

Les ***Monocalyptus*** ont fait l'objet de remaniements taxonomiques partiels de la part de Johnson (1976) et sont regroupés en deux sections *Hesperia* et *Renantheria*. Ce sous-genre, considéré comme le plus évolué, a la particularité de ne présenter qu'un seul opercule et un ovule anatrope. Le genre *Monocalyptus* est représenté à la fois au sud-est et sud-ouest du continent, sans possibilité de migration entre les deux régions pour la plupart de ses espèces en raison de la large barrière édaphique que constituent depuis le pliocène les dépôts calcaires marins de la plaine de Nullarbor ("Nulla", "arbor"). Deux branches distinctes se sont donc développées à l'intérieur du sous-genre : la branche est formée de la section *Renantheria* à l'exception de trois espèces et la branche ouest formée de la section *Hesperia* plus trois espèces de la section *Renantheria*.

La section *Hesperia* représente moins de vingt espèces qui, pour la plupart, occupent des niches écologiques très restreintes. Leur intérêt est avant tout ornemental.

La section *Renantheria* qui compte plus de quatre-vingts espèces regroupe quelques-unes des plus belles espèces du

genre. Elle domine les formations forestières de la frange sud-est du continent ainsi que celles de Tasmanie, des bords de mer jusqu'aux montagnes temporairement enneigées à plus de 2 000 mètres d'altitude.

La série des *Capitellatae* (Stringybarks), riche de vingt-cinq à trente espèces, est présente dans les États du New South Wales, de Victoria et du Queensland. Elle compte de nombreuses espèces commerciales (*E. agglomerata*, *E. muellerana*, *E. nigra*). Leur bois est généralement brun, dur et durable, utilisé en construction lourde.

La série des *Pilulares* (Blackbutts : quatre espèces) occupe la bande côtière entre le sud Queensland et le sud est du New South Wales où elle bénéficie d'un climat doux et humide. *E. pilularis*, son représentant le plus connu, atteint soixante dix mètres de haut. Son bois d'assez forte densité, de couleur brun-jaunâtre, est durable. C'est l'une des espèces les plus utilisées, notamment en sciage.

La série *Obliquae* regroupe environ trente cinq espèces communément désignées sous le nom de "Ashes" en raison de la vague ressemblance de leur bois avec celui des frênes. Cette série est très répandue dans l'extrême sud-est jusqu'en Tasmanie. Elle est particulièrement adaptée aux climats frais et humides (1 000 à 1 500 mm de pluviosité régulièrement répartis). La taille des espèces est extrêmement variable puisqu'on trouve des "mal-lees" aussi bien que les plus hauts feuillus du monde (*E. regnans*). Le bois est clair, moyennement lourd et dur, de faible durabilité. Fendif et sujet au collapse, il est utilisé sous forme de chips et de pâte à papier. Avec *E. regnans*, *E. obliqua* et *E. sieberi*, la série forme les plus majestueuses forêts australiennes.

Le groupe des «Peppermints», série *Amygdalininae*, est confinée aux États du New South Wales, Victoria et Tasmanie à l'exception de *E. radiata* que l'on rencontre jusqu'au sud Queensland et de *E. nitida* qui est native de la partie ouest du continent. Les espèces (moins de vingt) qui constituent cette série ont un habitat frais et humide identique à celui des *Obliquae*. Quelques espèces sont endémiques de Tasmanie (*E. pulchella*). Les principales essences commerciales sont *E. amygdalina*, *E. elata*, *E. radiata* et *E. nitida*. Cette série est malgré tout essentiellement connue pour ses huiles essentielles obtenues par distillation des feuilles de *E. dives* et *E. elata*.

Les autres séries de la section *Renantheria* : *Brevistyles*, *Marginatae*, *Jacksoniana* et *Acmenoidae*, sont de moindre importance.

## Apports de la systématique et pistes de recherche

Chez les eucalyptus comme chez n'importe quelle autre famille du monde vivant, aucune espèce n'est figée : elle a une histoire et un devenir. Les recherches sur la systématique des eucalyptus mettent en évidence certains des mécanismes par lesquels les espèces, ou certaines populations d'espèces, se sont maintenues en équilibre avec un milieu ayant connu des modifications, parfois profondes, au cours du temps. L'acquisition d'attributs fonctionnels nouveaux, comme par exemple les lignotubers, qui ont permis la survie de nombreuses espèces, a entraîné des changements de mor-

phologie assez facilement identifiables et interprétables. Toutefois, il n'est pas toujours facile, pour le systématique, d'apprécier le niveau de différenciation d'un caractère et ses causes ou sa signification au plan adaptatif. Il existe des cas où la transformation observée peut être fortuite, sans lien direct avec la stratégie de survie de l'espèce. Chaque espèce se distingue par un agencement propre de caractères plus ou moins modifiés, et de modifications à valeur adaptative plus ou moins marquée. Le travail du systématique consiste à peser l'importance relative de chaque transformation recensée et identifier pour chaque caractère la direction vers laquelle s'est faite l'évolution. L'appréciation du degré d'évolution d'une espèce, pour être fiable, devra globaliser cette information. Dans ce type d'analyse, l'écologie, la paléontologie et toute autre discipline permettant de retracer l'histoire du comportement des espèces au cours des temps géologiques sont une aide précieuse.

La génétique des populations a une approche qui complète celle du systématique sur de nombreux points : théorie explicative des mécanismes de survie ou au contraire d'extinction des espèces, des fondements physiologiques de certains caractères adaptatifs et des mécanismes assurant leur contrôle. Ses critères d'appréciation du potentiel évolutif d'une espèce sont directement liés à la diversité génétique : importance de la variabilité existante, manière dont elle est répartie aux niveaux des provenances, populations, familles et individus et les facteurs qui conditionnent son maintien. De nombreuses données ont été acquises grâce aux nombreux programmes d'amélioration génétique des deux dernières décennies et aux progrès plus récents des techniques de marquage enzymatiques et ADN. Toutefois, beaucoup reste encore à faire pour une meilleure compréhension de tous ces mécanismes, notamment chez les espèces peu ou pas utilisées en plantation.

Les nombreux essais d'introduction réalisés pendant la première moitié de ce siècle et jusqu'à la fin des années soixante, époque à laquelle plusieurs pays ont commencé à pratiquer une sylviculture de l'eucalyptus de type industriel, ont surtout fait appel aux connaissances sur l'écologie des espèces et leur utilisation potentielle. L'information alors disponible sur les ressources génétiques était très limitée. Les progrès de la génétique et de la systématique, permettent, de nos jours, de mieux en discerner les contours, lorsqu'il s'agit d'espèces importantes pour les plantations. Écologie, systématique et génétique sont les outils dont dispose aujourd'hui l'améliorateur dans ses recherches d'espèces ou de provenances nouvelles. Dans ce domaine l'équation du succès semble être : écologies apparentées des stations d'origine et d'accueil + espèce de type évolué + diversité génétique importante. L'expérience accumulée au champ, révèle l'importance chez les eucalyptus, de la variabilité inter-provenance et inter-descendance.

Forêt naturelle à *E. grandis* et *E. pilularis*, mont Mee, Queensland. Photo : Ph. VIGNERON.



À l'époque où, en l'absence d'autres approches, la stratégie de prospection des ressources génétiques était surtout guidée par des critères écologiques, l'échantillonnage préférentiel de stations naturelles à pédoclimats très proches de ceux des futures stations d'introduction a parfois conduit l'améliorateur sur de fausses pistes. On peut par exemple citer le cas des plaines à climat tropical humide et sub-humide du grand nord australien, écologiquement très proches de certaines régions tropicales humides du continent africain mais finalement très décevantes quant à leurs ressources génétiques. Lorsqu'on réévalue ces travaux antérieurs, à la lumière des informations sur la position des espèces sur l'échelle de l'évolution (telle que définie par la classification de Pryor et Johnson), on constate la faible présence, dans ces plaines tropicales du nord de l'Australie, d'espèces de type évolué, conséquence probable de leur statut de vieille pénéplaine. On

note également que les espèces de type évolué, de ces régions, ne sont pas représentées par les provenances les plus intéressantes pour l'améliorateur. Le cas de *E. camaldulensis* semble indiquer une distribution préférentielle (mais peut-être pas exclusive) des provenances à fort potentiel évolutif dans les régions les plus affectées par les mouvements orogéniques (Petford, région du Kimberley, lac Albacutya, etc.) à savoir, là où l'environnement s'est le plus modifié et continue d'évoluer et où l'équilibre des populations avec leurs stations est le moins accompli. Une étude plus rigoureuse permettrait de vérifier si les corrélations entre type d'habitat naturel et degré de "plasticité" des populations, qu'on peut percevoir chez certaines espèces, sont significatives au plan scientifique.

L'accès à ce nouveau type d'information peut aider l'améliorateur à revoir la conduite à tenir pour ses approvisionnements en matériel de reproduction à partir des aires naturelles lorsque les critères génétiques qui sont censés guider ses choix ne sont pas applicables, faute de données.

**Christian COSSALTER**  
CIFOR  
PO Box 6596 JKPWB,  
10065 Jakarta  
INDONESIA  
c.cossalter@cgiar.org

**Philippe VIGNERON**  
CIRAD-Forêt  
BP 5035,  
34032 Montpellier  
FRANCE  
vigneron@cirad.fr

**M.I.H. BROOKER**  
CSIRO  
Div. Plant Industry  
GPO Box 1600  
Canberra ACT 2601  
AUSTRALIE

# LA VÉGÉTATION SOUS EUCALYPTUS

## Cas des plantations de la région de Brazzaville (Congo)

### 1- Introduction

L'utilisation d'espèces végétales exotiques à croissance rapide est largement répandue dans les programmes d'afforestation (boisement et reboisement) des régions tropicales. Cette utilisation est souvent controversée en raison des effets possibles sur le milieu, en particulier sur la fertilité du sol. Les eucalyptus sont particulièrement visés par ces controverses (F.I.S., 1989 ; Calder *et al.*, 1992 ; Meziane, 1996 ; Ngibaot, 1997) bien que les données scientifiques semblent à cet égard contradictoires (Poore et Fries, 1985). Si l'absence de sous-bois dans les plantations est souvent considérée comme une preuve de la baisse de fertilité du sol, sa présence peut révéler une évolution de l'écosystème (Mathur et Soni, 1983 ; Rajvanshi *et al.*, 1983). Il a paru que, sur les sols sableux très pauvres sur lesquels ont été réalisées les plantations du Congo, l'étude de la végétation du sous-bois et celle du sol pouvaient apporter des éléments de réponse à ce problème.

Peu de résultats sur la végétation du sous-bois sous eucalyptus étaient disponibles il y a encore peu de temps. Cela a laissé libre cours à toutes sortes de spéculations. Ces dernières années, de nombreux travaux ont été menés sur cette question dans divers pays tropicaux tels que : l'Inde, le Costa Rica, le Brésil, la Chine, Hawaï, le Malawi et l'Afrique du Sud. Ils complètent les travaux qui se référaient souvent à des études ayant d'autres objectifs, en particulier les données sur les litières ou la matière organique du sol.

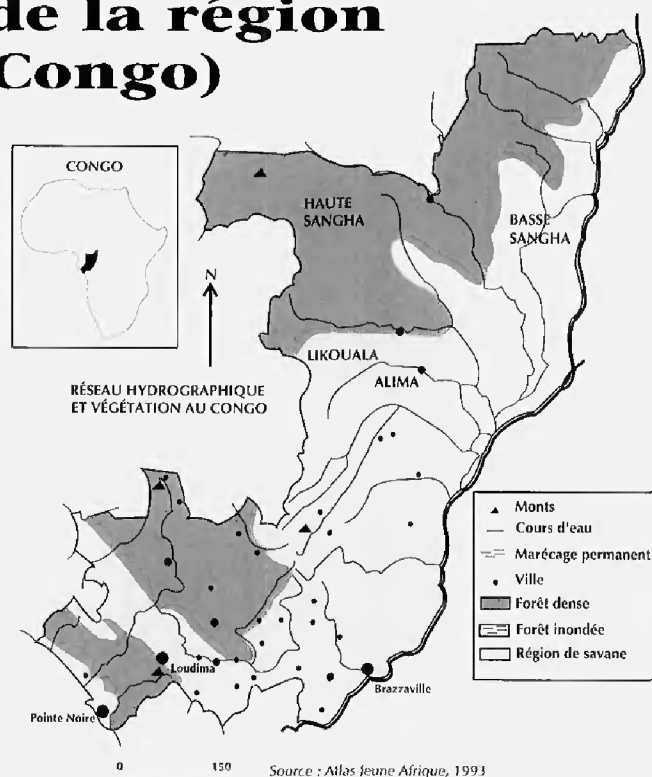
Des observations ont été faites au Congo par Nongamani (1988), Sita (1989), Loubelo (1990), Loumeto (1991), Soler (1994) et Nzala *et al.* (1997) qui ont noté la présence de nombreuses espèces de forêt naturelle dans le sous-bois des plantations forestières des régions de Loudima et de Pointe Noire. Nos précédents travaux (Loumeto et Bernhard-Reversat, 1997 ; Loumeto et Huttel, 1997) ont largement évoqué la dynamique végétale sous les plantations d'eucalyptus, d'acacia et de pin. Les plantations forestières du nord de Brazzaville ont fait l'objet de très peu de travaux de recherches, en dépit de l'intérêt des boisements en essences à croissance rapide. Cette région est pourtant pressentie pour la production abondante du bois d'oeuvre et surtout du bois de chauffe, qui alimentera la capitale congolaise et ses environs. Nous évoquerons ici les observations faites dans les reboisements des environs de Brazzaville (Kintélé et pK 45).

### 2- Sites et méthodes

#### 2-1- Site et peuplements étudiés

##### 2-1-1- Site

Les plantations d'eucalyptus ont été faites dans les zones de végétation de savane par l'Office congolais des forêts (O.C.F.), devenu Service National de Reboisement. Elles appartiennent à la station du pK 45 (périmètre de reboisement situé à 45 km au



nord de Brazzaville) et couvrent une superficie de 1078,05 ha répartis comme suit : Bilolo 433 ha, Kintélé 363,5 ha, Ngatsou 230 ha et Mpoumou 51,55 ha. Elles se trouvent sur des sols ferralitiques à texture sableuse (plus de 90% de sables). Le climat de la région, bien que sub-équatorial, est caractérisé par une pluviométrie de l'ordre de 1400 mm/an et une température moyenne annuelle de 25°C (période 1971-1992).

##### 2-1-2- Peuplements étudiés

Trois parcelles ont été étudiées (EBZ1, EBZ2, EBZ3). Les plateaux analysés sont âgés de 8-10, 15 et 18-20 ans. Ces plantations d'eucalyptus au Congo sont faites essentiellement avec des clones d'hybrides performants sélectionnés par le C.T.F.T. (Centre Technique Forestier Tropical) pour l'usage industriel et obtenus par bouturage.

Par ailleurs, un plateau a été établi en savane (SBZ) afin de servir de terme de comparaison et un plateau de la savane du pK45 a aussi fait l'objet d'une observation ponctuelle.

#### 2-2- Méthodes

##### 2-2-1- Inventaire par transects

Les inventaires floristiques et les mesures d'occupation spatiale sont réalisés selon des transects (Gounot, 1969). Dans la principale plantation (EBZ1), les transects sont des bandes correspondant à la largeur de l'interligne des eucalyptus, dont les segments sont délimités par quatre arbres. Leur dimension varie donc selon l'écartement des arbres. En savane, sur une bande de cinq mètres de large, les segments sont découpés tous les deux mètres et ont donc 10 m<sup>2</sup>. Chaque relevé correspond à un segment.

Dans chaque segment les espèces végétales sont recensées et leur occupation spatiale est déterminée selon le coefficient d'abondance-dominance de Braun-Blanquet (1964) qui se définit comme suit :

- + : individus de l'espèce peu ou très peu abondants, avec un recouvrement faible ;
- 1 : individus abondants, mais le degré de recouvrement est faible ;
- 2 : individus très nombreux avec un degré de recouvrement faible situé entre 5 et 25% de la surface considérée ;
- 3, 4 et 5 : individus couvrant respectivement 25 à 50%, 50 à 75% et plus de 75% de la surface considérée, quel que soit leur nombre.

Toutefois ne seront prises en compte, pour la formation des groupes biologiques correspondant aux critères d'analyse, que les espèces dont le taux de présence ou la fréquence (nombre de segments contenant l'espèce en pourcentage du nombre total de segments) est supérieure à 25%, ce qui élimine celles dont la présence peut être considérée comme accidentelle.

L'analyse se fait selon deux critères : d'une part le milieu d'origine de l'espèce qui permet de distinguer les espèces de forêt, les espèces de savane et les adventices, et d'autre part la forme biologique selon Raunkiaer (1934) qui définit les nanophanéophytes, les chamaephytes, les hémicryptophytes, les géophytes et les thérophytes. Les relevés ont été faits à différentes périodes de l'année entre mars 1990 et mars 1992. Les déterminations botaniques sont confrontées avec l'herbier du Centre d'Études des Ressources Végétales de Brazzaville.

### 2-2-2- Inventaire exhaustif

En plus de la méthode des transects, un inventaire exhaustif a été réalisé en notant toutes les espèces quels que soient leur taille et leur taux de présence. Cette deuxième méthode permet de mieux connaître la flore de la parcelle analysée à partir d'une plus grande superficie. Les listes floristiques ainsi obtenues sont plus riches, puisque même les espèces rares sont prises en compte. Cependant, la méthode des transects fournit une meilleure connaissance de l'occupation spatiale des espèces inventoriées, permettant ainsi de tenir compte des variations liées au stade de développement et à la distribution irrégulière du couvert végétal.

### 2-2-3- Biomasse végétale

La biomasse végétale (ou phytomasse) qui selon Gounot et Yu (1980) est définie comme la matière vivante par unité de surface, correspond, avec la méthode de pesée de la matière sèche utilisée ici, à la matière vivante associée à la matière morte encore fixée sur les individus vivants (Cornet, 1981). Dans les parcelles choisies, cinq placettes de 2 m x 2 m sont déterminées au hasard. Dans ces placettes les parties aériennes des plantes sont coupées au ras du sol et rapportées au laboratoire. Les différentes espèces sont séparées manuellement, séchées à l'étuve à 80°C jusqu'à l'obtention d'un poids constant et pesées. Ces mesures ont été exécutées, en décembre 1991 et février 1992 dans la plantation EBZ1 et en mars 1992 en savane. Elles n'ont pas été poursuivies à cause des incendies accidentels. Des phytomasses globales ont été aussi déterminées à des périodes différentes dans le sous-bois de EBZ1 et une évaluation faite au pK45.

## 3- Résultats

### 3-1- Structure et flore de la savane

La méthode des transects a permis de recenser 41 espèces végétales, dont les plus fréquentes (taux de présence supérieur à 60%) sont données au tableau 1. Les principales espèces sont : *Loudetia demeusei*, *Hymenocardia acida*, *Anisophyllea quagensis*, *Ctenium newtonii*, *Digitaria diagonalis* et *Landolphia lanceolata*. Il s'agit donc d'une savane arbustive, qui au point de vue phytosociologique appartient au groupement à *Trachypogon thollonii* et *Annona senegalensis* (ou *A. arenaria*), sous-groupement à *Loudetia demeusei* et *Hymenocardia acida* (Makany, 1976). Cette végétation, d'une hauteur maximale de deux mètres et demi, a un taux de recouvrement de 75%.

**Tableau 1 : Principales espèces des transects de la savane (SBZ) et de la plantation d'eucalyptus (EBZ1) affectées des coefficients d'abondance-dominance (forme= forme biologique, NP = nanophanéophytes, CH = chamaephytes, H = hémicryptophytes, GL = géophytes ligneux, GB = géophytes bulbeux, GR = géophytes rhizomateux, TH = thérophytes).**

Nom des espèces	Famille	Forme	SBZ	EBZ1
<i>Hymenocardia acida</i>	Euphorbiaceae	NP	3	2
<i>Eriosema glomeratum</i>	Fabaceae	CH	1	1
<i>Smilax kraussiana</i>	Smilacaceae	CH	2	1
<i>Ctenium newtonii</i>	Poaceae	H	2	1
<i>Digitaria diagonalis</i>	Poaceae	H	2	1
<i>Digitaria milaggiana</i>	Poaceae	H	2	1
<i>Hyparrhenia diplandra</i>	Poaceae	H	1	1
<i>Loudetia demeusei</i>	Poaceae	H	3	3
<i>Rhynchelytrum repens</i>	Poaceae	H	1	1
<i>Trachypogon thollonii</i>	Poaceae	H	1	1
<i>Bulbostylis laniceps</i>	Cyperaceae	GB	1	2
<i>Gladiolus unguiculatus</i>	Iridaceae	GB	1	1
<i>Anisophyllea quagensis</i>	Rhizophoraceae	GL	2	2
<i>Landolphia lanceolata</i>	Apocynaceae	GL	2	1
<i>Cassia mimosoides</i>	Caesalpinaceae	TH	1	1
<i>Schwenkia americana</i>	Solanaceae	TH	1	1
<i>Tephrosia barbiger</i>	Fabaceae	TH	1	1

### 3-2- Structure et flore du sous-bois des plantations

Les transects ont permis de noter 29 espèces végétales dont 17 principales, qui sont toutes d'origine savanicole (tableau 1). La graminée *Loudetia demeusei* est la principale espèce, puis suivent les herbacées *Bulbostylis laniceps* et *Hyparrhenia diplandra*, le sous-arbrisseau *Anisophyllea quagensis* et l'arbuste *Hymenocardia acida*. En comparaison avec la savane, son taux de recouvrement moyen (52%) est plus faible.

La méthode par inventaire exhaustif a permis de noter 74 espèces parmi lesquelles celles d'origine de savane sont les plus nombreuses (tableau 2), rejoignant la méthode des transects, et représentent 73% du total.

**Tableau 2 : Nombre d'espèces végétales de la plantation EBZ1 (à l'exclusion de l'eucalyptus) selon leur origine par la méthode des transects et l'inventaire exhaustif.**

	Espèce de forêt	Espèce de savane	Espèces adventive	Total
Méthode de transect	2	25	2	29
Inventaire exhaustif	13	54	7	74

Dans les plantations âgées (EBZ2 et EBZ3), où seul l'inventaire exhaustif a été effectué, les résultats montrent que le sous-bois est composé de nombreuses plantes de forêt naturelle (tableau 3) dont l'occupation spatiale est considérable. Le nombre total d'espèces qui y sont recensées est nettement plus faible que dans la jeune plantation (EBZ1). Malgré l'âge différent, les plantations âgées ont des espèces communes avec la jeune plantation dont certaines sont de forêt ou de la zone naturelle de contact forêt-savane de la région étudiée par Makany (1976) tels *Albizzia adianthifolia*, *Anthocleista nobilis*, *Hymenocardia ulmoides*, *Paropsia greviodoides* et *Syzygium brazzavillense*, et d'autres de savane tels *Hymenocardia acida*, *Ectadiopsis oblongifolia* et *Rhynchelytrum repens*.

**Tableau 3 : Liste des espèces des plantations âgées d'eucalyptus (EBZ2= 15 ans, EBZ3= 18-20 ans; + : Présence, - : Absence ; méthode par inventaire).**

Nom des espèces	Famille	Origine	EBZ2	EBZ3
<i>Aframomum sp</i>	Zingiberaceae	savane	+	+
<i>Agelea dewevrei</i>	Connaraceae	forêt	+	+
<i>Alchornea cordifolia</i>	Euphorbiaceae	forêt	+	+
<i>Barteria nigritiana</i>	Passifloraceae	forêt	+	+
<i>Bridelia ferruginea</i>	Euphorbiaceae	savane	+	+
<i>Bridelia micrantha</i>	Euphorbiaceae	forêt	+	+
<i>Gaertnera paniculata</i>	Rubiaceae	forêt	+	+
<i>Harungana madagascariensis</i>	Hypericaceae	forêt	+	+
<i>Landolphia jumeleii</i>	Apocynaceae	forêt	+	+
<i>Macaranga spinosa</i>	Euphorbiaceae	forêt	+	+
<i>Macaranga sp</i>	Euphorbiaceae	forêt	+	+
<i>Maprounea membranacea</i>	Euphorbiaceae	forêt	+	+
<i>Milletia eetveldeana</i>	Fabaceae	forêt	+	+
<i>Ouratea affinis</i>	Ochnaceae	forêt	+	+
<i>Palisota hirsuta</i>	Commelinaceae	forêt	+	+
<i>Panicum parvifolium</i>	Poaceae	adventice	+	+
<i>Pseudo-sabicea mildbraedii</i>	Rubiaceae	forêt	+	+
<i>Pteridium aquilinum</i>	Dennstaedtiaceae	adventice	+	+
<i>Rauwolfia vomitaria</i>	Apocynaceae	forêt	+	+
<i>Trichilia heudelotii</i>	Meliaceae	forêt	-	+
<i>Vernonia senegalensis</i>	Asteraceae	savane	+	-
<i>Xylopi brieiyi</i>	Annonaceae	forêt	+	-
<i>Xylopi rubescens</i>	Annonaceae	forêt	+	+

### 3-3- Phytomasse de la strate herbacée

Le tableau 4 (ci-contre) présente les biomasses végétales spécifiques de la savane (SBZ) et celles du sous-bois de la jeune plantation d'eucalyptus (EBZ1). La phytomasse totale et celle de la plupart des groupes végétaux triés sont plus élevées dans la savane que dans le sous bois de EBZ1.

Les phytomasses globales évaluées à d'autres périodes dans le sous-bois de EBZ1 et en savane montrent des différences importantes (tableau 5). L'erreur standard illustre leur variabilité notoire, en relation avec la distribution irrégulière de la végétation

**Tableau 5 : Phytomasses globales du sous-bois de la plantation (EBZ1) et des savanes de Kintélé (SBZ) et du pK45, exprimées en t/ha.**

Date	Oct. 91	Déc. 91	Fév. 92	Mars 92	Mai 93
Parcelle	EBZ1	EBZ1	EBZ1	SBZ	pK45
Moyenne	4,3	2,4	7,4	16,6	11,7
Erreur standard	1,4	0,4	1,1	6,8	1,5

La biomasse des arbustes n'a pas été globalement prise en compte. Celle de *Hymenocardia acida* indiquée dans le tableau 5 ne concerne que les pieds de petite taille (moins de 1 m) ; celle de *Crossopteryx febrifuga* a été déterminée en plantation (EBZ1, 39 g/m<sup>2</sup>). Cependant la densité des arbustes a été évaluée. Elle diffère faiblement entre la savane et le sous-bois de EBZ1 : au total 0,11 à 0,16 pied/m<sup>2</sup>. On compte six espèces à plus forte densité, parmi lesquelles la prépondérance d'*Hymenocardia acida* est nette.

## 4- Discussion et conclusion

### 4-1- Végétation des plantations et apparition des espèces forestières

L'installation progressive d'une végétation naturelle de type forestier dans le sous-bois des plantations est évidente, surtout dans les parcelles âgées. Parmi ces espèces de forêt naturelle, il y a *Alchornea cordifolia*, *Barteria nigritiana*, *Macaranga spinosa*, *Rauwolfia vomitaria*, *Syzygium brazzavillense*, et aussi *Harungana madagascariensis* et *Gaertnera paniculata*. Pour le jeune peuplement (8-10 ans), la strate basse est de type savanicole, comme souligné antérieurement (Loumeto et Bernhard-Reversat, 1997).

En ce qui concerne la structure verticale, la strate 0-50 cm est floristiquement la plus riche pour toutes les parcelles. Au-delà de un mètre les espèces sont peu nombreuses. Parmi les nanophanérophites (hauteur 50-200 cm) il y a quelques ligneux dépassant trois mètres dans les plantations de plus de dix ans tel

**Tableau 4 : Biomasses végétales de la savane (SBZ) et du sous-bois de la plantation d'eucalyptus (EBZ1), exprimées en g/m<sup>2</sup> (POA = Poaceae, HA = *Hymenocardia acida*, AQ = *Anisophyllea quagensis*, LL = *Landolphia lanceolata*, SK = *Smilax kraussiana*, AS = Autres espèces ; EBZ1\* = mesure faite sept mois après un incendie).**

Parcelle	Période	POA	HA	AQ	LL	SK	AS	Total
SBZ	3/92	195	18	83	13	5	17	331
EBZ1	12/91	128	4	97	1	16	-	246
EBZ1*	2/92	105	20	13	2	7	39	186

*Barteria nigritiana*, *Anthocleista nobilis* et *Harungana madagascariensis*, qui formeraient ainsi le groupe de microphanérophytes. Cette forme biologique a été confondue avec les nanophanérophytes pour simplifier les spectres biologiques et, surtout, à cause du taux de présence faible de la plupart d'entre eux. Les nanophanérophytes représentent moins de 30% dans EBZ1, où les thérophytes et les hémicryptophytes sont prépondérants. Le nouveau cortège floristique témoigne d'une évolution végétale nette en considérant particulièrement les ligneux naturels. Par rapport à l'écosystème initial, ils deviennent moins nombreux dans la jeune plantation. Dans les plantations âgées, malgré les interventions humaines importantes (coupe des arbres), 31% des espèces dénombrées sont d'origine forestière, et les nanophanérophytes dominent leurs spectres biologiques.

## 4-2- Les perturbations anthropiques

La dynamique végétale des plantations est influencée par les interventions humaines. Situées à proximité des villages habités et peu surveillées par les services forestiers, les plantations de Brazzaville sont très perturbées. Hormis les espèces de savane, on y note de nombreux pieds de plantes considérées comme mauvaises herbes dans les plantations agricoles tels *Chromolaena odorata*, *Sesamum indicum* et *Pteridium aquilinum* et d'autres types d'adventices tels *Urena lobata*, *Eragrostis sp* et *Sporobolus sp*. La variété caudatum de *P. aquilinum*, reconnue ici, envahit les savanes protégées du feu et en voie de forestation (Koechlin, 1961). Au niveau des ouvertures correspondant à la chute ou à la coupe des arbres, permettant ainsi aux rayons solaires d'atteindre le sol, *Hyparrhenia diplandra* est largement dominant dans le sous-bois des plantations âgées. Elle est une espèce caractéristique du groupement phytosociologique de la zone écologique où elle se trouve (site de pK 45) alors que *Loudetia demeusei* et *Hymenocardia acida* le sont plutôt pour celle de la jeune plantation (site de Kintélé). L'action anthropique faite de coupe d'arbres, d'incendie ou de récolte de certains fruits (en particulier ceux de *Anisophyllea quagensis* et *Landolphia lanceolata*) contribuerait au maintien des conditions de savane à certains endroits du sous-bois.

Les perturbations provoquées par le feu ne sont pas négligeables. Les proportions élevées des thérophytes témoignent des incendies dans les sites étudiés. Cette forme biologique est reconnue avoir une certaine aptitude à coloniser les milieux ouverts. Le type de sous-bois peut être influencé par la nature des sols, le feu ou l'humidité saisonnière.

## 4-3- Variabilité et instabilité des peuplements

Les parcelles étudiées sont des écosystèmes jeunes où les successions végétales sont en pleine évolution comme le montrent les variations floristiques et physiologiques dues au stade de développement et à la distribution irrégulière de la végétation. Sur un même transect le taux de recouvrement des segments analysés peut être très distinct, variant de 5 à 90%. Dans la jeune plantation, par exemple, où trois transects ont été réalisés les compositions floristiques obtenues sont parfois bien différentes. Hormis certaines espèces dites principales (*L. demeusei*, *H. acida*, *A. quagensis*, etc.), la présence de nombreuses autres est irrégulière et leur occupation spatiale très variable (exemple : *Gladiolus unguiculatus*, *Cassia mimosoides*, *Shwenkia americana*). Il en est de même parfois pour d'autres espèces ayant dans

Sous-bois d'une plantation d'eucalyptus âgée de neuf ans, quatre mois après le passage d'un incendie accidentel. Photo : J.J. LOUMETO.



beaucoup de segments une occupation spatiale considérable (*H. diplandra*, *C. newtonii*, *Trachypogon thollonii* et *L. lanceolata*).

D'autre part, la diversité floristique est assez importante. Dans la région de Pointe Noire (Loumeto, 1991b), par exemple, les espèces dites rares (taux de fréquence inférieur à 25%) sont nombreuses, dépassant parfois 50% des listes floristiques d'inventaire des plantations (29% en savane, 50% dans la plantation de 7-8 ans, 61% dans celles de 10-11 et 13-14 ans, et 13% dans la plus âgée 17-18 ans). Parmi elles se trouvent diverses espèces de forêt telles *Tetraceras podotricha* et *Maprounea membranacea*. Elles sont moins nombreuses dans la région de Brazzaville (29% en savane et 21% dans la plantation de 8-10 ans).

D'après des inventaires exhaustifs, la jeune plantation (EBZ1) qui est floristiquement plus riche que les plantations plus âgées (EBZ2 et EBZ3) et la savane, est composée de 50% d'espèces existantes dans la savane proche. L'autre moitié est constituée essentiellement des espèces connues comme étant de savane. Il y a aussi des espèces forestières croissant dans la zone naturelle de contact forêt-savane de la région, selon Makany (1976). Deux flores (savane et forêt) se retrouveraient donc dans cette plantation. La présence d'espèces existant dans des stations éloignées témoignerait l'importance des organes de dispersion favorisant ainsi les pollinisations croisées grâce aux divers agents de transport (vent, insectes, oiseaux, etc.) contribuant à l'amélioration de la biodiversité de la station. De même, la reproduction végétative y jouerait un rôle considérable.

## 4-4- Phytomasse herbacée

En ce qui concerne les biomasses végétales, le poids total et celui de la plupart des composants sont plus élevés dans la savane que dans le sous-bois de la jeune plantation. Dans les deux cas les graminées y sont largement représentées correspondant à plus de la moitié du total : près de 59% en savane et 52% dans le sous-bois de la plantation de 8-10 ans. Les principales espèces sont : *Loudetia demeusei*, *Hyparrhenia diplandra*, *Trachypogon thollonii* et *Ctenium newtonii* en relation avec leur prépondérance notée par l'analyse floristique évoquée précédemment. En comparant les valeurs obtenues dans les deux parcelles ou des mesures effectuées dans une même parcelle à des périodes différentes, on note des variations non négligeables. Les écarts sont à lier au stade de développement et à la distribution irrégulière du couvert végétal, pouvant être corrélée aux incendies locali-



Distribution irrégulière de la végétation dans le sous-bois d'une plantation de huit ans (vue d'un cadre en bois servant à la récupération des organes végétaux en chute) Congo. Photo : J.J. LOUMETO.

sés. Ainsi par exemple, dans certaines placettes de la jeune plantation les graminées atteignent  $436 \text{ g/m}^2$  alors que la moyenne est de  $128 \text{ g/m}^2$  ; la biomasse spécifique de *Anisophyllea quagensis* est nettement plus élevée dans les emplacements épargnés par le feu, correspondant donc à sa croissance maximale (en décembre) comme observé par Apani (1990).

Nos résultats concernant la biomasse totale de la savane sont très variables (3,3-16,6 t/ha). Les plus faibles se rapprochent de ceux de Apani (1990) étant de l'ordre de 3,9 t/ha, obtenus dans la même zone. Ceux de Makany (1976) sont de 9 t/ha au maximum. La phytomasse maximale de la savane de Pointe-Noire (valeur des mesures mensuelles faites pendant un an) est de 8,2 t/ha (Bernhard-Reversat, 1993).

#### 4-5- Évolution végétale des plantations et progression de la forêt sur la savane

La régression de la végétation telle qu'évoquée pour les plantations de certaines zones n'est pas observée dans la région de Brazzaville ; en conséquence les préoccupations parfois soulevées doivent être relativisées. Cependant, un effet allélopathique provoquant l'inhibition de la croissance des plantes sous le couvert des eucalyptus est souvent mentionné, surtout sous *E. globulus* (Moral et Muller, 1969 ; Willis, 1990 ; Souto *et al.*, 1995). Cet effet toxique est lié à des substances solubles. Celui dû aux feuilles et à la litière des eucalyptus dans la région de Pointe-Noire a été signalé, et montré sur les graminées (Bernhard-Reversat, communication personnelle). Il disparaît pendant la décomposition de la litière. Il est possible que certaines espèces, en particulier les espèces de forêt, soient résistantes à cet effet et contribuent par leur installation à une litière mélangée moins toxique même si la litière au sol, importante et couvrant totalement le sol des plantations est principalement composée d'organes issus des eucalyptus qui se décomposent lentement (Bernhard-Reversat, 1993).

L'installation des espèces forestières est nette dans les plantations de plus de dix ans d'âge, comme notée surtout dans les peuplements de Pointe-Noire et Loudima (Loumeto et Huttel, 1997). Dans ces parcelles, la végétation de savane cède la place à celle de la forêt. La tendance à la progression de la forêt sur la savane est signalée à plusieurs endroits du Congo : région de Brazzaville, forêts du Mayombe, du Chaillu et du nord, et réserve de Konkouati près de la région de Pointe-Noire. Ce phénomène est aussi observé en divers points de l'Afrique centrale ou d'autres zones de l'Afrique tropicale humide. Il serait favorisé par la diminution des feux de savane. Bien qu'en freinant la progression de la forêt, le feu ne parvienne pas à enrayer totalement sa tendance à l'expansion (Koechlin, 1961 ; Foresta, 1990). Par conséquent, sa faible fréquence dans le sous-bois des plantations forestières y favoriserait l'installation d'une végétation tendant vers une forêt naturelle. Cette progression varie selon le type de savane (Koechlin, 1961). La savane herbacée, à tapis plus clair, de la région de Pointe-Noire permet plus facilement l'installation des espèces forestières (Loumeto et Huttel, 1997) que la savane arbustive de Brazzaville.

Les sols sableux sont favorables à l'implantation de la végétation forestière (plus que les sols argileux). Cela s'expliquerait



25

par la théorie de Walter (1955) citée par Koechlin (1961) : des sols sableux laissent pénétrer la pluie plus profondément, permettent une meilleure utilisation de l'eau en restreignant les quantités évaporées pendant la saison sèche. Cet auteur souligne que sur sols sableux, la flore a des espèces héliophiles très dynamiques et aptes à s'installer en savane (*Gaertnera paniculata* est l'une des plus marquantes dans la région de Brazzaville). Ce phénomène contribuerait ainsi à un accroissement de la richesse floristique, le sous-bois des plantations présentant une diversité plus grande.

La rhizosphère des graminées occupe généralement les horizons superficiels du sol, assurant ainsi leur consommation en eau. La nutrition hydrique des eucalyptus est également élevée dans ces horizons. La teneur en eau dans les 30 cm supérieurs du sol sous eucalyptus se situe en moyenne entre 3 et 7%, au-delà elle est plus importante (Chatelperon et Kubler, 1983). Cette compétition pour la consommation d'eau superficielle en faveur des arbres serait défavorable à la croissance des herbacées, qui seraient en conséquence remplacées par les ligneux naturels. D'autre part, les graminées étant des espèces héliophiles, disparaîtraient aussi en raison de la faible intensité lumineuse dans le sous-bois engendrée par la couronne des eucalyptus. Cette diminution de l'éclaircissement dans la strate basse des plantations serait plutôt favorable à l'installation des espèces sylvatiques.

Par ailleurs, les résultats de nos travaux rejoignent les observations liées à l'"effet catalytique des plantations forestières" étudié sur les essences à croissance rapide de Pointe-Noire (Loumeto et Huttel, 1997). Ces plantations faciliteraient la régénération, la survie et la croissance des espèces forestières dans leur sous-bois, contribuant ainsi au maintien de la biodiversité. Par conséquent, d'importantes zones dégradées peuvent être réhabilitées et, des formations forestières secondaires floristiquement plus riches reconstituées grâce au reboisement, même avec des plantations monospécifiques.

Jean-Joël LOUMETO  
BP 2820 Brazzaville  
CONGO  
ORS12@Calva.COM

Ce travail a été réalisé avec le soutien de la Fondation Internationale pour la Science (F.I.S.) que nous remercions très sincèrement. Nous exprimons aussi notre gratitude à l'Office Congolais des Forêts (devenu Service National de Reboisement) qui nous a autorisé à travailler dans ses parcelles et à Madame F. Bernhard-Reversat pour sa collaboration.

# LA FERTILITÉ DES SOLS SOUS EUCALYPTUS

## Impact des plantations en savane autour de Pointe-Noire (Congo)

Les savanes du Kouilou se caractérisent par des sols très sableux et extrêmement pauvres chimiquement (Nzila, 1996). Des introductions d'espèces d'*Eucalyptus* y ont été réalisées dès les années 50 par le CTFT/Congo et ont permis d'identifier deux hybrides présentant des croissances remarquables (*E. PF1* et *E. 12ABL* \* *saligna*). La mise au point au Congo de la technique de bouturage horticole des eucalyptus, largement utilisée dans le monde aujourd'hui, a permis la multiplication massive des clones les plus performants dès les années 70.

Après les premières plantations du Service National de Reboisement, ces recherches ont abouti à la mise en valeur des savanes littorales à partir de 1978 avec la plantation de 42 000 hectares de peuplements clonaux d'hybrides d'eucalyptus gérés actuellement par la société ECO sa. Ces plantations sont d'abord destinées à produire du bois de pâte mais aussi de trituration (panneaux de particules et viscoses). Les prix de vente restent toujours modestes vu ce type de débouchés mais ces plantations jouent un rôle socio-économique important. En effet, elles représentent une source de devises significative et créent une activité importante pour le commerce local et le port de Pointe-Noire, avec 500 000 à 550 000 m<sup>3</sup> de rondins exportés annuellement. En outre, elles génèrent plusieurs milliers d'emplois dans des activités de sous-traitance pour le suivi sylvicole des peuplements, l'exploitation manuelle des arbres et la valorisation des résidus d'exploitation qui assure les trois quarts de l'alimentation en bois de feu et charbon de bois de la ville de Pointe-Noire (Hamel et Laclau, 1996).

Compte tenu de l'extrême pauvreté chimique des sols et des fortes biomasses de bois exportées, l'étude de la durabilité des systèmes de production est désormais un axe de recherche prioritaire pour l'Unité de Recherche sur la Productivité des Plantations Industrielles (UR2PI). La gestion durable d'un écosystème peut poursuivre de nombreux objectifs : la conservation dans le temps de la production des peuplements, de la fertilité des sols, de la biodiversité ou de la qualité des eaux de surface mais aussi la satisfaction des besoins économiques et sociaux des populations (Barthod, 1994). L'étude menée par l'UR2PI est focalisée pour sa part sur les cycles des éléments minéraux majeurs dans une futaie d'eucalyptus et un écosystème de référence, la savane. Son objectif est d'une part de quantifier l'impact de la plantation d'eucalyptus sur l'évolution de la fertilité minérale d'un sol de savane afin de proposer des itinéraires techniques à l'industriel permettant d'optimiser les apports d'éléments nutritifs et d'autre part de garantir une production de bois soutenue et durable.

### 1. Présentation de la démarche

Bien que des méthodes basées sur des indicateurs permettent de déterminer les tendances de l'évolution de la fertilité des sols,

seule l'étude complète des cycles d'éléments minéraux dans un écosystème permet de quantifier l'évolution des stocks des éléments nutritifs d'un sol (Ranger et Bonneau, 1984). Les recherches menées par l'UR2PI en collaboration avec d'autres organismes (CIRAD, IRD, INRA, CIFOR, ...) fourniront des éléments objectifs permettant de juger de l'impact de la plantation d'eucalyptus sur les sols. Ce type de données scientifiques est nécessaire pour faire progresser le débat sur l'effet écologique des eucalyptus.

Les principales étapes suivies dans cette étude sont :

#### a) Description de l'écosystème dans son état initial (la savane) et à la fin de la rotation de futaie

Un inventaire botanique de la savane et la futaie a été réalisé ainsi que l'estimation par échantillonnage de la biomasse et de la quantité d'éléments minéraux incorporés dans les compartiments d'une plantation d'eucalyptus adulte (tronc, branches, feuilles, racines).

Les principaux paramètres de la physique des sols permettant de déterminer la capacité de rétention et de transfert de l'eau sur l'ensemble des horizons prospectés par les racines ont également été déterminés ainsi que la caractérisation fine des phases minérale et organique. Des analyses se rapportant à la microfauve et microflore du sol sont également effectuées.

#### b) Étude des flux dans chaque écosystème

Cette étude permet d'appréhender la dynamique au cours du temps du fonctionnement minéral et hydrique des écosystèmes étudiés. Elle a nécessité la mise en place d'un dispositif pérenne de suivi et de mesures (pluviomètres, plaques lysimétriques, ...).

Transferts d'eau

Ils sont suivis au-dessus du sol dans les deux écosystèmes par des pluviomètres. Dans le sol, les transferts d'eau entre les différents horizons pédologiques et au-dessous de la zone de prospection racinaire sont évalués au moyen d'un modèle stationnel de transfert hydrique. Ce modèle est basé sur les apports journaliers par les pluies, l'évapotranspiration réelle (ETR) des peuplements et les caractéristiques physiques des sols. Une validation par des mesures régulières de l'humidité du sol est effectuée.

Flux d'éléments nutritifs

La dynamique d'incorporation de la matière sèche (biomasse) et des éléments nutritifs (minéralomasse) au cours de la croissance de la futaie et de la savane est suivie afin de quantifier l'évolu-

tion des prélèvements au sol par ces deux peuplements végétaux. Les exportations d'éléments lors de l'exploitation des eucalyptus et du brûlis annuel de la savane sont également évaluées.

Les apports atmosphériques (pluies et poussières) et les échanges au niveau du feuillage sont mesurés ainsi que les transferts des éléments nutritifs dans le sol par les eaux gravitaires jusqu'à la profondeur maximale de prospection racinaire. Dans le sol, les flux d'éléments nutritifs sont quantifiés en multipliant les concentrations mesurées dans les eaux récoltées avec des lysimètres par les flux d'eau de drainage évalués par le modèle hydrique. Afin de quantifier les pertes d'éléments par drainage profond, des lysimètres ont été installés jusqu'à six mètres de profondeur sous la plantation et quatre mètres sous la savane. La dynamique des restitutions de matière organique et d'éléments nutritifs par les litières est également suivie.

### c) Établissement de bilans hydriques et minéraux

Le bilan hydrique doit permettre de comparer l'utilisation des ressources hydriques par la futaie et la savane. Il doit permettre également d'évaluer l'impact de la plantation d'eucalyptus sur la recharge des nappes phréatiques.

Le bilan minéral permettra de déterminer entre deux dates données l'évolution du stock d'éléments minéraux dans le sol et d'estimer le risque de limitation du prélèvement. Il permettra donc de juger si le système de culture pratiqué est compatible avec un maintien durable de la fertilité minérale. L'équation à établir est : bilan = apports atmosphériques + altération des minéraux du sol + fertilisation - exportations par les récoltes - drainage (Ranger, 1995).

## 2. Premiers résultats concernant l'impact des eucalyptus sur le milieu

Les résultats obtenus jusqu'à présent ne sont que partiels et les bilans complets n'ont pas encore pu être établis. Cependant quelques tendances nettes peuvent d'ores et déjà être dégagées.

### 2.1 Impact sur les nappes phréatiques

Nous savons que lorsque les plantations d'eucalyptus ont accès à une nappe phréatique, les prélèvements hydriques peuvent être très importants. Ainsi en Afrique du Sud, la plantation d'eucalyptus est désormais interdite à proximité des cours d'eau (Dye, 1996).

Des mesures de flux de sève en saison sèche dans la plantation étudiée au Congo ont montré que les arbres subissent un stress hydrique important et que leurs racines ne prélèvent pas d'eau dans une nappe (Sana, 1997). L'évapo-transpiration réelle a été évaluée au cours de l'année 1997 à respectivement 4,7 et 3 mm/jour en saison des pluies dans cette plantation d'eucalyptus et dans la savane et à 1,2 et 1,6 mm/jour en saison sèche (Nizinski *et al.*, 1997).

La pluviométrie à Pointe-Noire est en moyenne de 1 200 mm/an avec cependant une forte variabilité inter-annuelle. Le suivi du stock hydrique dans le sol révèle que lors d'une année exceptionnellement sèche un drainage profond a lieu sous la savane mais pas sous les eucalyptus (Nizinski *et al.*, 1997). Par contre

au cours de l'année 1998, qui correspond à une pluviométrie de 1 670 mm, le modèle hydrique évalue le drainage profond sous savane à environ 470 mm contre 280 mm sous eucalyptus.

Ces résultats confirment donc une augmentation de la consommation hydrique sous les eucalyptus par rapport à la savane, mais ils montrent aussi que lors des années pluvieuses la plantation n'empêche pas une réalimentation des nappes phréatiques. Compte tenu des pluviométries enregistrées dans cette région et de la présence de grandes surfaces de formations naturelles au sein du massif d'eucalyptus, les plantations ne constituent pas un risque important pour la disponibilité en eau.

### 2.2 Impact sur la fertilité minérale des sols

Les premiers résultats révèlent de forts apports par les pluies de certains éléments minéraux dans les savanes du Kouilou. Au cours de l'année 1998, les apports étaient d'environ 30 kg/ha de calcium, 6 kg/ha de soufre et de sodium, 5 kg/ha d'azote et 2 kg/ha de potassium et magnésium. Les apports atmosphériques au cours d'une rotation d'eucalyptus de sept ans sont donc importants pour le calcium, l'azote et dans une moindre mesure le potassium et le magnésium si on les compare aux fertilisations classiquement apportées aux plantations et aux exportations d'éléments lors de la récolte du bois. Le tableau ci-dessous fournit une estimation de ces flux pour les principaux éléments nutritifs.

**Tableau 1 : Quantités d'éléments minéraux apportées (pluies et fertilisations) et exportées à l'exploitation dans une plantation d'eucalyptus (kg/ha)**

Éléments	Apports atmosphériques	Fertilisations ) classiques (ECO sa	Exportations à l'exploitation
N	35 kg/ha	42 kg/ha	98 kg/ha
P	3 kg/ha	42 kg/ha	30 kg/ha
K	14 kg/ha	67 kg/ha	39 kg/ha
Ca	210 kg/ha	0 kg/ha	33 kg/ha
Mg	14 kg/ha	0 kg/ha	19 kg/ha

Dans la savane, il existe également des pertes importantes d'éléments minéraux lors du brûlis qui a lieu quasiment chaque année, mais elles n'ont pas encore été quantifiées. Il apparaît cependant que la savane comme la plantation d'eucalyptus sont des écosystèmes extrêmement conservatifs car les concentrations en éléments minéraux mesurées dans les eaux de drainage sont très faibles. La forte prospection racinaire de ces peuplements leur permet de limiter considérablement les pertes d'éléments minéraux par drainage profond.

Le dispositif est suivi depuis trop peu de temps pour que des bilans entrées/sorties dans ces deux écosystèmes puissent être établis de façon fiable. Cependant, il ne semble pas que la plantation d'eucalyptus entraîne de dégradation brutale de ces sols particulièrement pauvres en éléments nutritifs. La savane comme la plantation d'eucalyptus témoignent d'une aptitude remarquable à utiliser les éléments minéraux apportés nécessaires à leur croissance. Les résultats obtenus révèlent l'importance des apports extérieurs (pluies, fertilisations, ...) et de la minéralisation de la matière organique du sol pour la durabilité de ces systèmes.

## Conclusion

L'étude de la durabilité des plantations forestières est particulièrement d'actualité pour les pays tropicaux où des plantations d'espèces à croissance rapide, comme les eucalyptus, sont souvent installées sur des sols de très faible fertilité. Ce vaste domaine de recherches nécessite des collaborations entre disciplines scientifiques (sylviculture, agronomie, pédologie, écophysiologie...) et entre pays.

Le dispositif d'étude installé par l'UR2PI permettra de quantifier l'impact de la plantation d'eucalyptus sur l'évolution d'un sol de savane. Il apparaît dès maintenant que la consommation hydrique est supérieure dans les plantations d'eucalyptus et que les prélèvements de certains éléments minéraux diffèrent dans ces deux formations végétales. Toutefois dans les conditions climatiques de Pointe-Noire, la plantation n'empêche pas une alimentation des nappes phréatiques lors des années pluvieuses et un éventuel appauvrissement du sol en certains éléments minéraux pourrait être compensé par des fertilisations adaptées.

En fonction des caractéristiques climatiques locales et des contraintes environnementales, la décision de planter des eucalyptus devra être raisonnée. Même si, pour une production de bois donnée, les eucalyptus ont des besoins hydriques et minéraux généralement plus faibles que la plupart des autres espèces forestières, ces besoins restent souvent plus importants que ceux de la végétation naturelle. Dans les zones sensibles, un aménagement du territoire devrait être envisagé afin d'assurer la fourniture en bois nécessaire tout en limitant les conséquences de la plantation d'eucalyptus sur l'environnement.

Jean-Paul LACLAU  
Jean-Pierre BOUILLET  
UR2PI / CIRAD-Forêt  
BP 1291 Pointe-Noire  
CONGO

Georges NIZINSKI  
IRD (ORSTOM)  
BP 1286 Pointe-Noire  
CONGO

NZILA Jean de Dieu  
UR2PI  
BP 1291 Pointe-Noire  
CONGO  
CIR11@Calva.COM

# PROPRIÉTÉS PHYSICO-CHIMIQUES ET BIOLOGIQUES DES SOLS SOUS EUCALYPTUS Cas des sols acides du Congo

## Introduction

Tenant compte du fait que les essences à croissance rapide peuvent exiger beaucoup du sol et que les monocultures modifient le bilan des éléments nutritifs (Chijioko, 1982), l'expansion des plantations d'eucalyptus hors de son aire d'origine est appréciée parfois avec réserve. Quelques travaux réalisés conformément à cette préoccupation révèlent des modifications édaphiques engendrées par le boisement en cette espèce dans certaines zones (Métro et Beaucorps, 1955 ; Pochon *et al.*, 1959 ; Madeira *et al.*, 1989).

Au Congo, dans le cadre des études du fonctionnement des nouveaux écosystèmes constitués par les plantations d'eucalyptus, des travaux portant sur le maintien de la fertilité des sols ont démarré depuis les années 1980. Ils ont été menés dans les laboratoires du CTFT, du Centre ORSTOM de Pointe-Noire, du Centre de Recherche Agronomique de Loudima (CRAL) et de l'Université de Brazzaville. Depuis 1994, ils se sont intensifiés avec la création de l'Unité de Recherche sur la Productivité des Plantations Industrielles (UR2PI) installée à Pointe-Noire où un programme important y est consacré. Par ailleurs, des études ponctuelles sont conduites par des chercheurs de l'ORSTOM (actuellement IRD) et de l'Université de Brazzaville en collaboration avec cette structure.

On peut ainsi noter des travaux sur les sols de plus en plus nombreux dans la région de Pointe-Noire. Il y en a très peu dans les deux autres zones de reboisement du Congo : Loudima et Brazzaville.

*Végétation naturelle du littoral congolais et plantation d'eucalyptus.  
Photo : J.D. NZILA.*



Nous exposons ici quelques conclusions de ces travaux en se basant sur l'évolution de quelques paramètres à savoir : pH, matière organique, cations échangeables, capacité d'échange cationique et faune du sol.

## Présentation des sites de reboisement

Le Congo comprend trois zones de reboisement qui sont situées au sud du pays : Brazzaville, Loudima et surtout Pointe-Noire. En dehors des plantations expérimentales et de plantations d'extension présentes dans les trois régions, de vastes plantations industrielles (couvrant près de 43 000 ha de superficie)

existent dans la région de Pointe-Noire, sur la façade maritime. Hormis les sols, et aussi le sous-sol, assez différents, le climat et la végétation initiale des zones reboisées sont assez semblables.

## Climat

Le climat est de type bas-congolais ou soudano-guinéen. La température moyenne annuelle est de 25°C. Les écarts thermiques entre années sont faibles, de même, que ceux entre les valeurs maximale et minimale : 26,5-22,5°C pour Brazzaville et 28,5-23,2°C pour Pointe-Noire. L'humidité de l'air reste élevée (au-dessus de 80%) toute l'année. Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 1 400, 1 250 et 1 080 mm respectivement pour Brazzaville, Pointe-Noire et Loudima. Il y a deux saisons qui s'alternent :

- une saison sèche, de juin à septembre, correspondant à une diminution nette de pluviosité et au minimum de température ;
- une saison de pluies, le reste de l'année, avec un ralentissement de pluviosité pouvant être observé entre décembre et février.

## Sols

Appartenant essentiellement à la classe des sols ferrallitiques fortement désaturés, les sols des zones de reboisement sont acides et se répartissent en deux catégories :

- sols sableux (plus de 90% de sables et moins de 5 % d'argile en surface), pauvres en matière organique (moins de 1%) et en cations échangeables à Brazzaville et Pointe-Noire ;
- sols argileux (plus de 50 % d'argile et environ 20% de sables en surface) et moins pauvres en matière organique (3 à 5%) et en cations échangeables à Loudima.

## Végétation naturelle

Partout les plantations sont réalisées sur des terrains anciennement occupés par la savane qui est différente selon la station :

- Pointe-Noire : savane herbacée dominée par les graminées *Rhynchelytrum repens*, *Ctenium newtonii*, *Andropogon gabonensis*, *Loudetia arundinacea* ou *Elyonurus argenteus* ;
- Brazzaville : savane arbustive dominée par les graminées *Hyparrhenia diplandra*, *Trachypogon thollonii* ou *Loudetia demeusei* et les arbustes *Hymenocardia acida* et *Anona arenaria* ;

- Loudima : savane arbustive dominée par la graminée *Hyparrhenia diplandra* et les arbustes *Anona arenaria* ou *Bridelia ferruginea*.

## Évolution des propriétés du sol sous plantations d'eucalyptus

### pH du sol

Sous végétation naturelle, le pH des sols du Congo est acide sous sols sableux (4,5 à 5) et moyennement acide sous sols argileux (5 à 6). À partir des observations sur des chronoséquences, il semble que, quelle que soit la nature du sol, le pH diminue légèrement sous les peuplements âgés (Jamet, 1968, 1974 et 1975 ; Loumeto, 1998). Ceux-ci semblent donc acidifier légèrement les horizons superficiels (0-5 cm) des sols (tableau 1).

### Matière organique

Les teneurs en carbone total des horizons humifères (0-5 cm) sont généralement inférieures à 1% dans les sols sableux et compris entre 2 et 3% dans les sols argileux. Avec les plantations d'eucalyptus (tableau 1), on observe un accroissement des teneurs en carbone total dans les plantations âgées de plus de onze ans (Mbemba-Makiza, 1981 ; Loumeto, 1998) où les teneurs sont parfois doublées dans les plantations très anciennes. Cet accroissement de matière organique n'est limité que dans l'horizon superficiel A11 dont l'épaisseur excède rarement les cinq centimètres sous végétation naturelle.

L'évolution des teneurs en azote total n'est pas aussi marquée que celle du carbone total. On note une légère diminution dans les sols sableux de la plaine côtière tandis que ces teneurs sont stables ou légèrement améliorées dans les sols argileux de Loudima et sableux de Brazzaville.

Des tests de minéralisation d'azote, réalisés sur des échantillons de sol et de litière, prélevés dans la zone de Pointe-Noire, ont montré que les sols sous plantations d'eucalyptus ont un potentiel de minéralisation d'azote plus élevé que les sols sous savane. L'essentiel de l'azote minéral est sous forme ammoniacale, la nitrification étant nulle ou négligeable. Cette absence de nitrification serait due à un inhibiteur venant des litières d'eucalyptus (Bernhard-Reversat, 1996).

À ce propos, des études en cours à l'UR2PI suivent l'évolution de la minéralisation *in situ* de l'azote sous une replantation d'eucalyptus.

### Fertilité chimique des sols

Sous plantations d'eucalyptus récentes, la somme (S) des teneurs en cations échangeables (Ca, Mg, K, Na) baisse fortement et devient insignifiante par rapport à la savane (tableau 1). Ces teneurs augmentent légèrement avec l'âge des plantations, mais sans atteindre la valeur initiale (Jamet, 1975 ; Loumeto, 1998). Les cations prélevés sont stockés dans la biomasse des eucalyptus et une partie d'entre eux retourne au sol avec la chute des litières et dans les rémanents laissés à l'exploitation.

**Tableau 1 : évolution des caractéristiques des horizons superficiels (0-5 cm) des sols sableux sous eucalyptus de Brazzaville et de Pointe-Noire**

		pH eau	C total (%)	N total (%)	S		S/T (%)
					mé/100 g de sol		
					CEC		
Brazzaville	Savane	5,4	0,80	0,05	0,24	5,7	4,2
	Euc. 16 ans	5,4	0,86	0,05	0,07	4,7	1,5
	Euc. 26 ans	4,8	1,61	0,08	0,13	8,8	1,5
Pointe-Noire	Savane	5,65	0,72	0,06	0,98	1,70	70,6
	Eucalyptus (10 à 19 ans)	4,70	0,80	0,05	0,18	2,15	8,4
Loudima	Savane	4,61	2,59	-	-	-	-
	Eucalyptus (16 ans)	4,62	2,82	-	-	-	-

Euc. = eucalyptus. S = somme de cations (Ca, Mg, K, Na) échangeables. CEC (ou T) = capacité d'échange cationique. (sources Loumeto, 1998 et Jamet, 1975).

Littoral congolais. Photo : J.D. NZILA.



La capacité d'échange cationique (CEC ou T) augmente avec l'âge des plantations (Jamet, 1975 ; Loumeto, 1998). Cette amélioration est due à l'élévation de la teneur en matière organique du sol : ce qui contribue à un accroissement des charges du complexe argilo-humique, donc à la capacité de rétention des nutriments.

Malgré cette amélioration de la CEC, le taux de saturation en bases (S/T) est fortement réduit sous plantation d'eucalyptus du fait de la diminution des teneurs en cations échangeables (Jamet, 1975 ; Loumeto, 1998).

## Faune du sol

Quel que soit le milieu (naturel ou agricole), la faune du sol est un régulateur important de la décomposition de la litière, du cycle des nutriments, de la dynamique de la matière organique et de la dynamique de l'eau, en relation avec ses habitudes alimentaires, le creusement de galeries et la formation de structures construites.

Suivant la taille des organismes, la faune du sol se subdivise en trois grands groupes : la microfaune (< 0,2 mm) constituée essentiellement de protozoaires et de nématodes, la mésofaune (de 0,2 à 2 mm) représentée par les arthropodes inférieurs (acariens, tardigrades, collembolés) et la macrofaune (> 2 mm) comprenant les vers de terre, les termites, les fourmis et d'autres insectes qui jouent un rôle important dans l'évolution des sols.

Avec l'âge des plantations d'eucalyptus, on note une diminution de la densité de nématodes par rapport à la savane qui est l'écosystème initial. Cela signifie que les espèces de savane ne sont pas remplacées par celles de forêt (Loumeto et Bernhard-Reversat, 1998).

Par ailleurs, la densité de la macrofaune totale (comprenant essentiellement des vers de terre, termites, coléoptères et fourmis) augmente de manière significative avec l'âge des plantations quel que soit le type de sol. En effet, dans les plantations d'eucalyptus âgées d'au moins 20 ans, la faune du sol a nettement accrue et les conditions du milieu sont proches de celles de la forêt galerie de

référence. Au contraire, dans les jeunes plantations âgées de six ans, la faune du sol est moins abondante et sa biomasse diminuée (tableau 2). Ces variations de la biomasse faunique sont dues à la quantité de litière au sol et à la qualité de la végétation du sous-bois (Mboukou Kimbatsa *et al.*, 1998).

## Conclusion et discussion

À l'étape actuelle des recherches menées au Congo sur les eucalyptus, il est prématuré de tirer des grandes conclusions sur les effets de ces essences sur la fertilité chimique et biologique des sols. L'étude des cycles biogéochimiques en cours à l'UR2PI devrait permettre de quantifier l'évolution des stocks d'éléments minéraux dans les sols de savane après plantation d'eucalyptus.

On peut néanmoins affirmer que les plantations d'eucalyptus provoquent, sur les horizons de surface (0-5 cm), une légère acidification du sol qui est compensée par une nette augmentation du taux de matière organique. On observe également une tendance à la désaturation du complexe absorbant qui pourrait être préjudiciable à la durabilité des plantations industrielles d'eucalyptus si des apports d'engrais minéraux ou d'amendements ne sont pas envisagés pour compenser les exportations d'éléments minéraux avec les récoltes de bois.

L'augmentation de la densité faunique du sol est en relation avec le taux de matière organique du sol et l'accroissement de la végétation du sous-bois dans les vieilles plantations d'eucalyptus (Loumeto et Huttel, 1997). Contrairement aux idées reçues, à un âge donné, les eucalyptus favoriseraient une recolonisation du milieu par une faune exotique et locale. Les plantations d'eucalyptus du Congo montrent un enrichissement écologique de l'écosystème avec une diversité plus importante en comparant avec l'écosystème initial qu'est la savane (Mboukou-Kimbatsa *et al.*, 1998).

Jean de Dieu NZILA  
UR2PI  
BP 1291 Pointe-Noire  
CONGO

Jean Joël LOUMETO  
Université de Brazzaville  
Faculté des Sciences  
BP 69 Brazzaville  
CONGO

Irène MBOUKOU-KIMBATSA  
IRD / ORSTOM  
BP 1286 Pointe-Noire  
CONGO

**Tableau 2 : nombre individuel de macrofaune du sol (par m<sup>2</sup>) et biomasse (g/m<sup>2</sup>) jusqu'à 30 cm de profondeur dans la savane, forêt galerie et plantations d'eucalyptus à Pointe-Noire et à Loudima (source Mboukou-Kimbatsa *et al.*, 1998). Euc. = eucalyptus**

		Pointe-Noire (sols sableux)			Loudima (sols argileux)		
		Savane	Euc. 6 ans	Euc. 20 ans	Forêt	Savane	Euc. 26 ans
Vers de terre	densité	11,2	14,4	58	106	6,4	293
	biomasse	0,27	4,66	10,5	22,2	1,45	74,5
Termites	densité	410	77	14390	3347	683	46
	biomasse	0,30	0,06	15,04	2,25	1,30	0,13
Coléoptères	densité	59	3,2	32	59	19,2	1,6
	biomasse	2,50	0,08	3,46	5,56	1,14	0
Fourmis	densité	69	83	125	86	435	58
	biomasse	0,12	0,06	0,16	0,13	1,10	0,07

# LES EUCALYPTUS EN FRANCE

## Le défi de la tolérance au froid

Cet article est dédié aux pionniers des plantations d'eucalyptus, visionnaires de l'intérêt majeur de ce genre végétal, en France et dans le monde.

Si les premières introductions d'eucalyptus en France datent du début du XIX<sup>ème</sup> siècle (Villa Thuret à Antibes, Château de La Malmaison près de Paris), il a fallu attendre la deuxième moitié du XX<sup>ème</sup> pour voir se développer des programmes orientés vers le développement de plantations à grande échelle. La réalisation de vastes programmes en Afrique du Nord laissait à penser qu'il pourrait en être de même en France métropolitaine. Il est cependant très vite apparu que la tolérance au froid serait le plus grand handicap (avec les sols calcaires) au développement des plantations.

### I - Une histoire mouvementée

L'histoire des eucalyptus en France a été jalonnée de dates qui, chaque fois, ont marqué le développement de cette culture.

1954 - Premiers *arboreta* mis en place en région méditerranéenne et dans le sud ouest par la recherche forestière (CNRF). De nombreuses espèces ont été introduites dans plus de vingt parcelles, formant un réseau dense et extrêmement intéressant.

1956 - Les grands froids de janvier 1956 sont désormais rentrés dans l'histoire avec - 20°C sur une grande partie du sud méditerranéen. Vignes et oliviers ont payé un très lourd tribut à cette calamité. Les eucalyptus aussi puisque la plupart des parcelles ont été endommagées, voire anéanties. Premier coup d'arrêt au programmes de recherches.

1961 - Sous l'impulsion de rapatriés d'Afrique du nord, vaste programme de plantations d'*E. globulus* et *E. camaldulensis* dans la Plaine Orientale de la Corse. Programme qui s'essouffera vite par manque de débouchés et par la mise en valeur agricole de ces terrains.

1963 - Deuxième alerte au froid, moins intense qu'en 1956, mais qui arrive sur des esprits traumatisés et bloque les diverses initiatives en cours.

1972- Le CNRF recommence des essais d'introduction d'espèces plus résistantes, comme par exemple *E. dalrympleana*, puis *E. delegatensis*. Les résultats sont intéressants, mais ce programme reste confiné au sud-est (Maures). Parallèlement, on note des essais d'introduction de l'INRA (Villa Thuret à Antibes, dans l'Esterel). La problématique pare-feu devient le fil conducteur de ces travaux.

1973 - Premiers essais d'introduction d'une vingtaine d'espèces de l'AFOCEL, dans le midi toulousain. La problématique est radicalement différente puisqu'il s'agit de créer une ressource ligneuse intensive pour contribuer à l'approvisionnement en

bois de l'industrie de la pâte à papier, en l'occurrence l'usine de la Cellulose d'Aquitaine à Saint Gaudens. Ce programme de recherche se poursuit encore actuellement.

1983 - Début du développement de plantations industrielles dans le sud-ouest, avec des clones hybrides sélectionnés *E. gunnii* x *E. dalrympleana*, avec plus de 1000 hectares plantés en 3 ans.

1985 - Deuxième grand froid, plus intense et plus long qu'en 1956 dans tout le sud-ouest. Des températures de -22°C à Auch dans le Gers (épargné en 1956). Toutes les plantations sont gelées. Arrêt du développement industriel. Mais on constate rapidement que la plupart des plantations âgées de plus d'un an rejettent de souche. Seuls les plants de moins d'un an sont morts. Il est décidé de reprendre les travaux de sélection pour la tolérance au froid.

1992 - Mise au point par l'AFOCEL de clones de *E. gunnii* sélectionnés pour la tolérance au froid, au seuil de -18°C et testés pour leur performance en plantation.

1993 - Campagne de plantations de prédéveloppement afin de tester la validité des résultats.

1997 - L'analyse du risque météorologique de retour des basses températures et l'analyse des impacts environnementaux de cette culture conduisent au redémarrage du programme de plantations industrielles pour l'approvisionnement de l'usine Pyrénécell, dans le cadre du contrat de Plan État Région en Midi Pyrénées. Le propriétaire peut en outre assurer sa plantation contre les risques de gel.

On le voit, l'histoire des eucalyptus en France est riche de rebondissements. Il faut noter la persévérance des décideurs qui ont compris, malgré les aléas, l'importance industrielle de ce type de culture.

### Quels froids ?

C'est bien entendu la principale question à poser. Il n'y a en effet pas un froid, mais plusieurs types de froids. Ils sont caractérisés par :

\* la température minimale absolue : elle est bien sûr un des paramètres à considérer, elle survient le plus souvent en plein hiver, en janvier. Elle doit être pondérée par la durée du froid, car un seul pic nocturne est moins néfaste qu'une période de plusieurs nuits à basse température. Par exemple, à Toulouse en janvier 1985, les températures sont restées négatives, y compris dans la journée, pendant plus de 10 jours avec des *minima* nocturnes compris entre -8°C et -19°C ;

\* la période considérée : un froid extra-hivernal (gel précoce en automne ou tardif au printemps) peut entraîner des dégâts supérieurs à un froid hivernal plus intense ;

\* l'état physiologique des plants : les eucalyptus ont une croissance continue pourvu que les conditions climatiques le permettent. Quelques jours avec des températures clémentes ( supérieures à +6°C) provoquent le démarrage de la plante. Dans le sud de la France, on est souvent en situation hivernale tempérée et les eucalyptus ont du mal à s'endurcir. Que survienne une masse d'air froid nordique, comme en 1985 par exemple, et les plants peuvent être fragilisés ;

\* l'état du sol : un sol enneigé protège efficacement la souche et le système racinaire ; au contraire, un sol humide gèle plus rapidement en profondeur ;

\* le vent : il accentue les effets du froid, même si les températures ne sont pas extrêmes.

Dans ces conditions complexes, il est difficile de baser la sélection au froid sur un seul critère. Nous avons du tenir compte de ces interactions dans l'élaboration et la mise en œuvre de nos programmes d'amélioration génétique.

## Quelles espèces ?

Les niveaux de froid observés en France nous ont conduits à privilégier un nombre restreint d'espèces à fort potentiel. Cependant, comme dans la plupart des projets en cours dans le monde, nous avons privilégié deux espèces appartenant au sous genre *Symphyomyrtus*, plus facile à valoriser que celles appartenant au sous genre *Monocalyptus*.

*E. gunnii* est originaire du Plateau Central de Tasmanie. Cet arbre est souvent présent dans des dépressions (trous à gelées), sur sols lourds et hydromorphes, en peuplements épars, souvent de petite taille (quelques dizaines d'individus par provenance). Plusieurs provenances, surtout les plus intéressantes pour le froid, sont actuellement menacées car situées dans des zones de pâturage où la régénération est difficile. C'est l'espèce majeure puisque les clones les plus performants supportent des *minima* de -18°C sous nos latitudes. Cependant, sa croissance est souvent moyenne à faible et nécessite une forte amélioration.

*E. dalrympleana* est une espèce originaire de Tasmanie et du sud-est de l'Australie (Alpes australiennes). Son aire naturelle, en altitude, est beaucoup plus vaste que celle de *E. gunnii* et les peuplements de cette espèce forment des massifs réellement forestiers. Cette espèce allie une croissance et une forme intéressantes à une résistance au froid moyenne (-12 °C). Les croisements avec *E. gunnii* permettent d'obtenir des génotypes hybrides appelés *E. gundal* dont certains sont utilisés en développement. Une espèce voisine de *E. dalrympleana*, *E. viminalis*, pousse à plus faible altitude, est moins résistante, mais a des caractéristiques de croissance plus fortes.

D'autres espèces peuvent être amenées à jouer un rôle dans nos programmes d'amélioration. Il s'agit par exemple de *E. globulus*, une autre espèce tasmanienne, dont les qualités technologiques en font une espèce très recherchée par l'industrie de la pâte à papier. Elle est surtout développée dans la péninsule ibérique (plus d'un million d'hectares plantés depuis 30 ans).



Exploitation d'eucalyptus hybride planté en Midi Pyrénées, à l'âge de dix ans.  
Photo : C. PERINOT.

## Améliorer la tolérance au froid - c'est possible

Nous parlons en effet de tolérance au froid et non de résistance absolue. Le genre eucalyptus n'existant pas dans les zones boréales, il vaut mieux parler de tolérance relative. De plus, les espèces les plus vigoureuses ne sont pas les plus tolérantes. On se dirige donc forcément, et c'est là toute la difficulté, vers un compromis entre ces deux critères de sélection.

La démarche suivie par l'AFOCEL est la suivante :

\* évaluation du risque : la première étape consiste à évaluer le risque "froid" ; c'est seulement à partir de cette information de base que vont s'ordonner les activités d'amélioration ; la cartographie et l'analyse des statistiques météorologiques permettent de dégager des probabilités de retour des principaux types de froid ;

\* recherche des espèces et provenances tolérantes au froid dans l'aire naturelle : cela se traduit par des récoltes de semences, de pollen, etc. pour les espèces potentiellement intéressantes ;

\* tri des meilleurs lots et recherche des génotypes les plus prometteurs : cette phase passe par la mise en place d'essais de terrain ; ces essais consistent à planter des essais (provenances, descendances, clones) sous forme de transects, afin d'avoir rapidement toute une gamme de froids naturels, y compris les froids exceptionnels pour la zone de plantation industrielle ;

\* analyses de conductivité relative sur disques de feuilles : ces analyses permettent de classer les génotypes (clones) selon une échelle identique et de comparer de manière objective les niveaux de tolérance.

Ce travail, mené régulièrement depuis plus de 15 ans, a permis de faire passer le niveau de tolérance au froid des clones de développement de -12°C à -18°C.



## Quelles perspectives ?

Le défi de la sélection pour les basses températures ne s'arrête certainement pas aujourd'hui, même si nous pensons avoir atteint les limites de tolérance dans l'aire naturelle de ce genre. Plutôt que de continuer à essayer de gagner à grands frais quelques dixièmes de degré, l'étape suivante consiste à augmenter la vigueur sans perdre en tolérance. Ceci est réalisé par la fabrication d'hybrides intraspécifiques *E. gunnii*, mais avec des géniteurs non apparentés (provenances différentes), voire même des croisements interspécifiques avec des géniteurs sélectionnés, par exemple avec *E. dalympleana*. Citons enfin les avancées futures en biologie moléculaire, par exemple par transformation génétique avec des gènes sélectionnés ou par sélection assistée par marqueurs.

La démarche suivie et les méthodologies et outils développés pour la sélection «au froid» s'appliquent dans leur principe à de nombreux critères de sélection aux stress, biotiques ou abiotiques, dans de nombreuses régions à travers le globe, et en particulier en zone méditerranéenne ou inter-tropicale. Il s'agit par exemple de la possibilité de développer des cultures sur sols calcaires ou salins. Ces deux contraintes entraînent des perturbations dans le fonctionnement des arbres, les problèmes nutritionnels se doublant souvent de modifications physiologiques significatives. Il faut cependant être vigilant car une partie de la solution réside dans la juste évaluation des causes, directes mais aussi indirectes, des problèmes observés. Par exemple, les sols

calcaires peuvent être très secs, même en absence de calcaire actif, les sols salins aphyxiants, etc. Seule une observation fine des conditions locales permet de bien identifier les pistes et les niveaux potentiels d'amélioration. De plus, comme dans toute culture agricole ou forestière, le risque zéro n'existe pas. À nous de tout faire pour le minimiser et, à l'inverse maximiser les gains en productivité. C'est certainement la meilleure réponse que nous pourrions apporter à tous ceux qui attendent le développement d'une ressource intensive en biomasse renouvelable.

Enfin, le développement durable des plantations d'eucalyptus, partout dans le monde, doit s'accompagner d'une politique forte d'identification et de mise en œuvre de critères et indicateurs crédibles de gestion durable. En effet, cette culture a longtemps été soumise à de nombreuses critiques émanant d'origines très diverses. Il convient à ce propos de distinguer la part due aux eucalyptus eux-mêmes de celle due à des techniques culturales inadaptées ou un mauvais choix de matériel végétal. L'acceptabilité sociale et environnementale de ces plantations doit être réellement prise en considération lors du développement des projets au même titre que les aspects économiques.

Jean Noël MARIEN

AFOCEL SUD

Domaine de St Clément

34980 - St Clément de Rivière

FRANCE

sud@afocel.fr

33

## Technologie du bois

# UTILISATION DES EUCALYPTUS EN BOIS D'OEUVRE

## Facteurs limitants, itinéraires techniques et potentialités de développement

### Préambule

L'avenir des eucalyptus ne se présentait pas sous les meilleurs auspices lorsque John White, chirurgien rattaché au premier groupe de criminels déportés anglais débarqués en 1788 à Port-Jackson (Sydney) déclarait : "Je ne vois aucun usage envisageable pour l'eucalyptus si ce n'est le bois de feu pour lequel il convient très bien. Excepté pour cet usage, il constitue à tous les égards une des pires essences de bois qui n'ait jamais été produite".

Plus récemment, les eucalyptus ont fait l'objet de toutes les attaques de certains groupes écologistes assimilant cette essence à une véritable calamité naturelle. À propos des plantations d'eucalyptus en Asie du sud-est, Lohmann (1990) n'écrivait-il pas : "Non seulement les eucalyptus dégradent les sols mais ils font disparaître les cultures vivrières et fourragères, détruisent la forêt naturelle, engendrent la pauvreté, mettent les populations locales en état de dépendance, et annihilent la connaissance des générations futures face à leur culture et à leurs moyens de subsistance".

En reprenant les propos de White et Lohmann dans son allocution d'introduction au Symposium IUFRO sur le rôle des eucalyptus en foresterie intensive (Durban - Afrique du Sud), J.W. Turnbull (1991) invite ses collègues congressistes à davantage de modération.

Il leur suggère cependant de ne pas basculer dans l'enthousiasme apologétique de l'industriel américain Pratt qui déclarait à propos d'*Eucalyptus globulus* en 1910 : "Cet arbre pousse aussi vite que le peuplier. Il est aussi haut que le sequoia, droit comme le sapin. Son bois est aussi dur que celui du chêne, aussi souple que celui de l'hickory, beau comme celui de l'érable, et aussi durable que le cèdre", et de ne pas sombrer dans les excès outranciers de son compatriote Davenport (1907) pour qui l'eucalyptus est "résistant à tous les insectes, produit le meilleur bois de charpente du monde et fournit un bois d'oeuvre adapté à tous les usages".



Annélation des arbres avant abattage sur *Eucalyptus globulus* au Chili. Photo : BOMACO.

Modérateur, Turnbull conclut en considérant que la réalité de la situation se situe sans doute à mi-chemin entre les propos incendiaires de Lohmann et "the slick entrepreneurial prose" de Pratt et Davenport.

## 1 - Une essence multi-usages

Dans leur aire naturelle de répartition, de nombreuses espèces d'eucalyptus parmi les quelques six cents existantes ont très rapidement fait l'objet d'une valorisation croissante liée à une meilleure connaissance de leurs propriétés.

Aux utilisations traditionnelles, tels que le bois de feu, le charbon, ou les structures en bois équarris, sont venus se greffer des emplois à plus haute valeur ajoutée tels que la construction, l'ameublement, la menuiserie et l'agencement intérieur, la production de placages décoratifs.

Le développement de ces nouvelles utilisations est le résultat direct des travaux de recherche et développement menés notamment en Australie.

En dehors de l'aire naturelle de répartition, des plantations ont été mises en place afin de répondre à des impératifs et besoins variés :

- protection et stabilisation des sols érodés et appauvris,
- production de combustible pour les populations locales (plantations villageoises),
- fourniture de matière première pour la fabrication de pâte à papier (plantations industrielles).

Ces deux derniers types d'utilisation qui représentent plus de 80% des débouchés des eucalyptus sont vitaux pour les pays en

développement dont les besoins croissants en bois énergie doivent être satisfaits pour les usages domestiques tout en limitant la pression sur les formations naturelles (problème crucial en Afrique dans la zone soudano-sahélienne) ; la production de pâte à papier permet de doper l'économie des pays producteurs dont certains sont devenus autosuffisants (exemple remarquable du Maroc riche de ses plantations d'*Eucalyptus camaldulensis*). Entre 10% et 15% des Eucalyptus sont utilisés sous forme de bois d'industrie et uniquement 5% à 7% sous forme de bois d'oeuvre, essentiellement en sciage. Ces pourcentages peuvent varier dans de fortes proportions d'un pays à un autre.

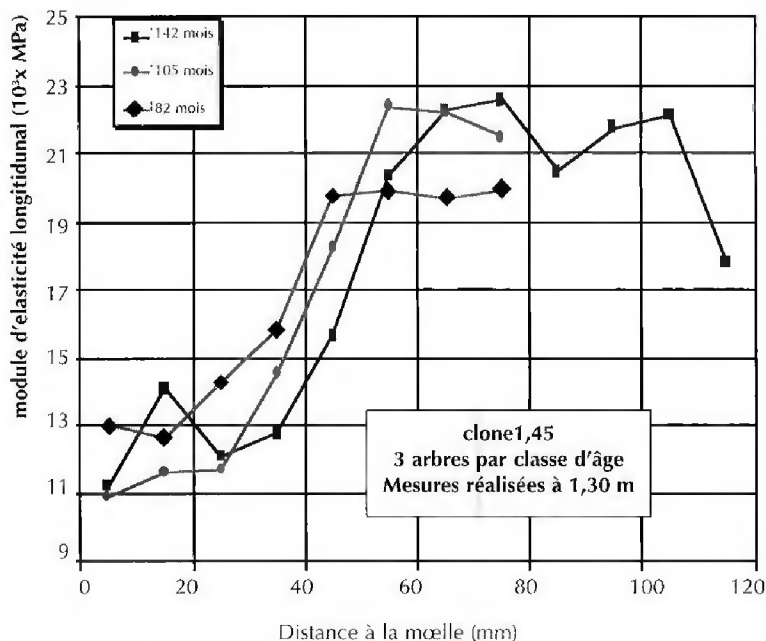
Par ailleurs, les produits non ligneux à forte valeur ajoutée tels que les huiles essentielles, les tanins, le miel constituent des formes de valorisation parfois très rémunératrices.

## 2 - Des propriétés technologiques très variables

Les Eucalyptus de plantation se caractérisent par la forte variabilité de leurs propriétés technologiques ; leurs caractéristiques dépendent directement des espèces, hybrides ou clones considérés, mais aussi fortement de l'âge des arbres et des conditions de croissance des peuplements. Les plus fortes variations sont observées à l'intérieur de l'arbre, entre le coeur et l'écorce. Le graphe ci-après montre ainsi que le module d'élasticité du bois, propriété mécanique de référence, peut varier suivant le rayon dans un rapport de 1 à plus de 2 chez certains individus.

Compte tenu de cette très grande variabilité du comportement technologique du bois, la notion de valeur moyenne de propriété à une signification très relative, même si elle demeure essentielle pour contribuer à définir les usages potentiels des bois.

VARIATION DU MODULE D'ÉLASTICITÉ LONGITUDINALE ENTRE LA MCELLE ET LE CAMBIUM *Eucalyptus* PF1 (Congo)



Le tableau ci-après présente les caractéristiques de référence des principales espèces pures d'eucalyptus issus de plantation testées au CIRAD-Forêt.

Ces résultats montrent l'extrême variabilité des propriétés des bois selon les espèces considérées et selon leur origine.

Pour l'essentiel de ces essais, l'âge des bois n'était pas connu alors qu'il constitue un facteur majeur de variation. Les propriétés des bois sont d'autant plus homogènes à l'intérieur d'un individu que celui est âgé ; chez les arbres matures, le noyau de bois juvénile plus ou moins important est souvent éliminé en cours de transformation par les scieurs.

Nom botanique	Origine	N	Dens	Dur	PSF	Rv	Rt	Rr	Cp	F12	Mod
<i>Eucalyptus acmenoides</i> Schau.	Madagascar	3	0,74	3,3	31	14,8	9,9	5,3	55	112	10 398
<i>Eucalyptus botryoides</i> Sm.	Burundi	3	0,83	4,8	27	14,5	10,1	6,5	66	136	12 524
<i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehn.	Burkina Faso	4	0,78	4,4	26	12,5	8,8	4,5	58	104	9 581
	Burundi	2	0,92	4,2	31	17,2	12,7	7,2	77	149	15 157
	Uruguay	3	0,78	4,2	30	13,3	8,5	5,6	65	133	13 571
<i>Eucalyptus citriodora</i> Hook.	Madagascar	5	0,99	8,3	25	15,0	8,8	6,7	77	167	18 718
<i>Eucalyptus cloeziana</i> F.Muell.	Congo	2	0,73	4,6	28	12,8	9,8	5,8	62	129	13 587
	Madagascar	2	0,87	5,5	29	16,8	11,0	6,2	80	165	18 296
<i>Eucalyptus deglupta</i> Bl.	Côte d'Ivoire	1	0,49	1,7	27	10,2	7,2	3,8	35	63	5 690
<i>Eucalyptus delegatensis</i> R.T.Baker	Madagascar	1	0,97	7,6	29	15,0	10,7	5,2	75	129	12 557
<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	Espagne	5	0,83	3,9	31	18,4	11,4	7,3	76	142	16 531
	Uruguay	3	0,90	6,5	31	19,1	14,5	9,2	75	151	18 901
<i>Eucalyptus globulus</i> Labill. ssp.maidenii Kirkpatr.	Burundi	3	0,86	5,2	28	15,6	11,1	6,2	74	151	14 257
	Madagascar	1	0,87	4,3	30	12,7	9,3	4,1	50	107	8 633
<i>Eucalyptus gomphocephala</i> DC.	Maroc	4	0,85	4,6	27	14,1	8,5	4,5	59	111	9 123
<i>Eucalyptus goniacalyx</i> F. Muell.	Madagascar	1	0,89	7,3	36	13,4	14,5	8,9	80	150	17 854
<i>Eucalyptus grandis</i> Hill	Burundi	6	0,67	2,4	31	15,2	10,6	6,2	63	120	13 015
	Madagascar	3	0,61	2,8	31	12,3	8,6	5,1	51	103	10 856
<i>Eucalyptus gummiifera</i> Hochr.	Madagascar	1	0,73	3,4	29	12,7	8,7	5,2	68	133	12 066
<i>Eucalyptus leucoxylon</i> F.Muell.	Madagascar	1	0,76	3,9	-	14,1	9,4	5,7	57	133	15 107
<i>Eucalyptus maculata</i> Hook.	Burundi	3	0,92	6,4	25	14,4	9,4	6,0	79	156	15 860
	Madagascar	5	0,88	5,7	29	14,2	9,9	6,1	69	135	14 696
<i>Eucalyptus microcorys</i> F.Muell.	Burundi	3	0,98	7,5	28	17,0	12,4	6,7	84	182	18 443
	Madagascar	3	1,00	7,0	27	16,5	10,9	7,5	83	150	17 822
<i>Eucalyptus muelleriana</i> Howitt	Madagascar	2	0,76	4,6	28	13,8	9,0		70	125	12 557
<i>Eucalyptus paniculata</i> Smith	Burundi	3	1,08	9,7	32	19,5	12,7	9,1	98	194	20 569
<i>Eucalyptus pilularis</i> Smith	Madagascar	4	0,85	5,5	34	15,9	11,1	7,1	76	143	14 862
<i>Eucalyptus piperita</i> Smith	Madagascar	1	0,77	3,1	-	19,5	11,0	5,9	66	127	12 164
<i>Eucalyptus resinifera</i> Smith	Madagascar	3	0,87	5,8	33	15,8	10,1	7,3	79	148	15 336
<i>Eucalyptus robusta</i> J.E.Smith	Burundi	3	0,71	2,8	30	15,5	9,2	5,8	67	131	13 440
	Madagascar	10	0,84	4,7	34	16,1	9,8	6,9	66	126	14 588
<i>Eucalyptus saligna</i> J.E.Smith	Burundi	3	0,56	1,8	29	13,3	7,8	5,1	53	101	11 609
	Madagascar	2	0,80	4,3	21	14,1	9,3	5,6	65	130	14 225
	Uruguay	3	0,73	3,0	30	16,3	9,5	6,2	67	122	15 107
<i>Eucalyptus tereticornis</i> J.E.Smith	Burundi	3	0,75	3,2	28	14,1	10,1	5,1	61	126	11 641
	Madagascar	2	0,78	3,8	33	11,8	9,1	6,8	56	94	9 516
	Uruguay	3	0,83	5,3	29	15,6	8,5	5,3	67	119	13 701
<i>Eucalyptus viminalis</i> Labill.	Madagascar	2	0,88	6,6	33	10,3	8,9	5,0	66	119	12 067

N : Nombre de séries d'essais réalisées  
 Dens : Densité\*  
 Dur : Dureté Monnin\*  
 PSF : Point de saturation des fibres (%)  
 Rv : Retrait volumique total (%)  
 Rt : Retrait tangentiel total (%)

Rr : Retrait radial total (%)  
 Cp : Contrainte de rupture en compression parallèle (MPa)\*  
 F12 : Contrainte de rupture en flexion statique (MPa)\*  
 Mod : Module d'élasticité longitudinal (MPa)\*

\* : caractéristiques déterminées sur des bois stabilisés à 12% d'humidité

Séchage à l'air de carrelets d'eucalyptus pour la fabrication de parquets (Portugal).  
Photo : J. GÉRARD.

### 3 - Principaux facteurs limitant la valorisation en bois d'oeuvre des eucalyptus

La très forte variabilité des propriétés des bois d'eucalyptus constitue un handicap certain du fait de la qualité hétérogène des produits obtenus après transformation. Cependant, la valorisation en bois d'oeuvre de la plupart des espèces du genre reste essentiellement et typiquement limitée par deux types de problèmes techniques qui surviennent durant leur première transformation.

36

Lors de l'abattage, du tronçonnage, et du sciage, la libération de contraintes mécaniques internes (contraintes de croissance) est à l'origine du développement de fentes et de déformations des bois, défauts technologiquement très pénalisants. Les contraintes de croissance correspondent à un phénomène d'auto-équilibre mécanique développé par les arbres durant leur croissance. Leur hétérogénéité tangentielle, liée à la présence de bois de tension, permet à l'arbre de se réorienter à la suite de modifications des conditions environnementales (éclaircies) ou par l'incidence de la compétition entre les individus d'un peuplement.

Chez certaines espèces feuillues réputées sensibles comme l'eucalyptus, mais aussi le hêtre, le peuplier, le fraké, le wapa, les premières opérations de transformation modifient brutalement l'état d'équilibre qui s'était instauré durant la croissance de l'arbre, d'où l'apparition de ces défauts qui ont des conséquences néfastes :

- sur la qualité des produits obtenus : diminution des rendements matières, production de débits hors cotes et difficiles à usiner,
- sur l'intégrité des équipements de transformation : voilement et détérioration des lames de scie, détérioration des guides-lames, déformation des chariots de scie de tête,
- sur la sécurité des personnels : éclatement des troncs à l'abattage, et à l'extrême, rupture des lames de scie.

Durant le séchage, les retraits du bois élevés, fortement anisotropes et hétérogènes à l'intérieur de la tige sont à l'origine de défauts dont les effets sont équivalents à ceux précédemment évoqués ; l'effet des retraits peut se cumuler aux effets induits par la libération des contraintes de croissance résiduelles, et à ceux du collapse (phénomène survenant en début de séchage du fait de la création d'une tension hydrostatique dans les cellules du bois lors de l'évaporation de l'eau libre).

En pratique, les opérateurs de la filière considèrent couramment que l'eucalyptus ne pose plus de problème lorsque les bois sont sciés et séchés, à condition que les sciages secs obtenus ne soient pas trop déformés ni fissurés ! Tous ces problèmes mettent en lumière l'existence de phénomènes aux répercussions multiples et néfastes que les utilisateurs ont coutume de regrouper sous le vocable de "nervosité" du bois.

Par ailleurs, de façon plus ou moins marquée selon les espèces considérées, d'autres facteurs contribuent à rendre problématique l'utilisation du bois des eucalyptus sous forme massive ou de placage :



- ◆ la durabilité naturelle de certaines espèces est faible ou très variable ; couplée à une mauvaise imprégnabilité, elle interdit toute possibilité d'utilisation des bois en milieu extérieur sans traitement ;
- ◆ les trois principales catégories de défauts de fil dans le bois (fil tors, fil ondulé, contrefil) se retrouvent chez la plupart des eucalyptus ; ces défauts accentuent les déformations de séchage, diminuent la résistance mécanique suivant la direction longitudinale du bois, et nuisent à la bonne qualité des placages ;
- ◆ les poches de Kino, exsudats phénoliques visqueux formés au niveau de canaux traumatiques, provoquent un encrassement des outils, tachent les bois et diminuent les rendements matière.

### 4 - Contraintes de croissance et première transformation de l'eucalyptus

Pour s'affranchir (partiellement) des effets néfastes dus à la libération des contraintes de croissance, différentes solutions techniques plus ou moins empiriques sont mises en oeuvre par les opérateurs de la première transformation. Elles sont liées directement aux procédés de sciage, ou plus en amont, à des interventions sur les arbres sur pied ou aux méthodes d'exploitation.

- ◆ Plusieurs mois avant l'abattage, annélation simple du tronc à sa base, sur une profondeur comprise entre le quart et le tiers du diamètre

Cette méthode, utilisée notamment au Chili, conduit à un dépérissement de l'arbre sur pied, et aurait pour effet de relaxer partiellement les contraintes internes.

- ◆ Techniques particulières d'abattage

\* Annélation simple ou double du tronc afin de relaxer partiellement les contraintes transverses dues au tronçonnage, et bloquer la propagation longitudinale des fentes ; le tronçonnage doit être pratiqué entre les deux annélations, ou au dessous de l'annélation simple.

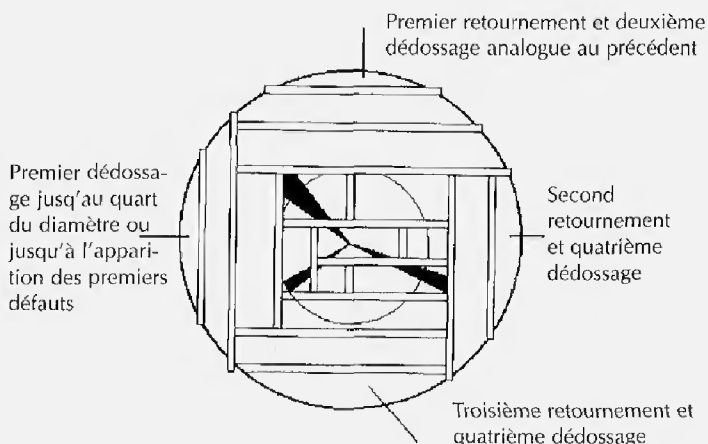
\* Juste avant la chute de l'arbre, ouverture d'une mortaise à coeur pour sectionner la charnière d'abattage ; cette technique est préconisée sur les arbres inclinés.

#### ◆ Stockage des grumes dans des conditions particulières afin de favoriser la relaxation différée et progressive des contraintes internes tout en limitant la vitesse de séchage du bois

Immersion, enfouissement sous la terre (méthode utilisée au Portugal), aspersion permanente ou intermittente (méthode utilisée notamment en Australie). Par ailleurs, la fixation d'esses ou de connecteurs aux extrémités des grumes contribue à limiter l'ouverture des fentes en bout.

#### ◆ Techniques particulières de sciage

- \* Sciage des grumes dès leur arrivée en scierie.
- \* Sciage de grumes de faible longueur.
- \* Sciage sur quartier pour limiter les déformations dans le plan de débit.
- \* Sciage par retournement afin de libérer progressivement les contraintes internes : les quatre dosses sont successivement éliminées puis la partie équarrie est débitée en plateaux. Plusieurs variantes de ce mode de débit sont mises en oeuvre en fonction du type de matériel utilisé.
- \* Sciage en plots sur demi-grume : l'ouverture des grumes par le coeur suivi d'un sciage en plots des demi-grumes permet de libérer dès les premiers débits une partie importante des contraintes internes et d'obtenir ensuite des produits sans fente, peu déformés ; ce mode de débit n'est envisageable que pour des grumes de gros diamètre (technique utilisée en Espagne).
- \* Utilisation d'un line-bar, dispositif permettant de maintenir le trait de scie parallèle à la face avivée du noyau de la grume qui a tendance à se courber lors des premiers débits.



## 5 - Méthodes de séchage appropriées

Lorsque les bois sont sciés, certaines techniques utilisées avec succès, notamment en Australie, permettent de réduire les risques de fentes et de déformations de séchage (Kauman 1986). Ces techniques ne sont pas particulièrement sophistiquées et relèvent de pratiques développées empiriquement par les transformateurs avec l'appui technique des structures de recherche et développement dans les zones de production :

#### Séchage initial à l'air libre suivi d'un reconditionnement pour récupérer le collapse

Le reconditionnement est un traitement à la vapeur saturée à 100°C durant 2 à 6 heures selon l'épaisseur des débits ; il doit être mis en oeuvre sur des bois dont l'humidité est comprise entre 18 et 25% ; ce traitement permet de récupérer une majeure partie du collapse.

#### ◆ Utilisation de tables de séchage douces

Un exemple de ce type de table est présenté ci-après. Cette table montre que pour les débits sur quartier, il est possible d'utiliser une table de séchage plus rapide car les bois ont moins tendance à se déformer.

#### ◆ Mise en oeuvre de procédés simples adaptés aux bois réputés nerveux

- \* Application de produits anti-fentes aux extrémités des sciages ; ces produits ne permettent pas réellement de bloquer l'ouverture des fentes, mais ils ralentissent la vitesse de séchage ce qui contribue à freiner l'apparition de ces défauts.
- \* Application d'une charge sur les piles de bois afin de bloquer partiellement et de façon plus ou moins irréversible les déformations.

## 6 - Valorisation en bois d'oeuvre des eucalyptus de plantation : success stories et perspectives

Dans leur aire naturelle de répartition, de nombreuses espèces d'eucalyptus ont été très tôt replantées du fait des besoins croissants en bois et de la diminution des ressources naturelles. Dans ces régions, des boisements arrivés à maturité sont aujourd'hui disponibles et sont exploités pour la production de bois d'oeuvre dont une partie est exportée.

Ainsi, les trois espèces *Eucalyptus delegatensis*, *E. obliqua*, et *E. regnans* sont commercialisées dans l'hémisphère nord (notamment dans les pays anglo-saxons) sous la dénomination commune Tasmanian Oak (dénomination commerciale peu satisfaisante puisque ces bois n'appartiennent pas au genre *Quercus*).

Le Tasmanian Oak est une essence de densité moyenne, adaptée à des utilisations intérieures, revêtement mural, menuiserie, plancher, agencement intérieur.

Initialement, ces bois étaient issus de forêt naturelle ; ceux qui sont aujourd'hui proposés sur le marché proviennent essentiellement de plantation.

Deux autres espèces d'eucalyptus de plantation issues de l'aire naturelle de répartition du genre font l'objet d'un courant commercial régulier vers Europe, notamment vers l'Europe du Nord : le Jarrah (*E. marginata*) et le Karri (*E. diversicolor*).

Ces deux espèces ont une densité supérieure à celle du Tasmanian Oak et leurs utilisations sont différentes. En particulier, le Jarrah présente une très bonne résistance vis-à-vis des champignons de pourriture (classe de durabilité 1 selon la norme européenne NF EN 350-1 "Durabilité naturelle du bois massif"). Il est préconisé dans tous les emplois exposés à un risque d'humidification permanente ou prolongée et couvre naturellement (sans traitement de préservation) la classe 4 de risque biologique (classe d'utilisation correspondant à des bois dont l'humidité est en permanence supérieure à 20% et/ou en contact du sol).

Aux Pays-Bas, le Jarrah constitue une des essences les plus appréciées pour la fabrication de portes d'écluses. Dans les zones de production, il est largement utilisé et exporté sous forme de produits finis, menuiseries intérieures et extérieures, escaliers, moulures, planchers et decks extérieurs.

Sciage d'eucalyptus à l'aide d'un équipement mobile sur Leizhou-Peninsula, Chine. Photo : J. GÉRARD.



38

En dehors de l'aire naturelle de répartition du genre, la plus belle réussite en matière de valorisation en bois d'œuvre des eucalyptus de plantation est sans doute à mettre à l'actif du Chili. Ce pays dispose de plantations d'*Eucalyptus globulus* dont certaines sont très âgées (plus de 50 ans). Les bois sont exploités de façon industrielle puis transformés à grande échelle avant d'être en partie exportés vers l'hémisphère nord sous forme d'avivés sous l'appellation Chilean Oak (appellation tout aussi discutable que Tasmanian Oak).

Ces bois sont essentiellement destinés à la fabrication de menuiseries intérieures, parquet et lambris.

En Europe, cette même espèce d'eucalyptus a été largement plantée au nord de l'Espagne (plus de 200 000 ha) ainsi qu'au Portugal. Bien que ces plantations soient principalement destinées à approvisionner l'industrie nationale de la pâte à papier, *E. globulus* est bien valorisé localement sous forme de bois d'œuvre par des entreprises semi-industrielles, pour la fabrication de parquet, lambris, charpente légère, menuiserie, contre-plaqué. Ce type de production qui apporte un complément de valeur ajoutée à la ressource devrait se développer dans les années à venir en relation avec le développement et l'industrialisation de la filière-bois ibérique et l'augmentation du prix du pin (*Pinus pinaster*) qui était jusqu'alors la première essence transformée dans la région.

Il est planifié qu'une partie de la ressource ne sera pas exploitée avant l'âge de 30 ans afin de produire des bois dont la qualité sera compatible avec les impératifs industriels des entreprises de première transformation. Les arbres de gros diamètre et les plus âgés posent effectivement moins de problèmes lors du sciage que les bois plus jeunes.

Plusieurs autres pays producteurs tels que le Brésil, l'Argentine, l'Afrique du Sud, ont développé de façon similaire une industrie performante pour la transformation en bois d'œuvre des eucalyptus de plantation, parallèlement à la production principale qui reste la fabrication de pâte à papier.

Au niveau local, dans toutes les zones de plantation agroforestière des pays du Sud, une partie de la ressource est systématiquement sciée et transformée pour répondre aux besoins en matériaux des populations locales. Ces voies de valorisation mettent le plus souvent en œuvre des équipements de type artisanal. Cependant, certaines de ces filières parfois informelles sont parfaitement organisées et contribuent largement au développement économique local.

Dans les pays du Nord ou dans les pays du Sud, de façon artisanale ou par des procédés industriels, la transformation en bois d'œuvre des eucalyptus constitue une activité génératrice d'emplois et créatrice de ressources, avec une valeur ajoutée supérieure à celle engendrée par la fabrication de pâte à papier, débouché principal de cette essence.

Compte tenu de la volonté générale et de la nécessité de limiter la pression de l'exploitation forestière sur les formations forestières naturelles, la production de bois d'œuvre à partir des plantations d'eucalyptus ne pourra qu'augmenter à court ou moyen terme. Les contraintes techniques liées à la transformation de cette essence peuvent être palliées en utilisant des procédés souvent mis au point de façon empiriques mais qui ont fait leurs preuves.

Par ailleurs, les techniques d'hybridation et de clonage permettent déjà d'obtenir des bois aux caractéristiques plus homogènes. Actuellement, ces techniques visent essentiellement à améliorer la qualité des bois destinés à la pâte à papier. Des applications à la sélection d'arbres destinés à la production de bois d'œuvre commencent à voir le jour, et se révèlent prometteuses.

Table de séchage conseillée pour des eucalyptus de densité moyenne								
Taux d'humidité du bois (%)	Débits sur quartier (e=25 mm) Séchage depuis l'état vert		Débits sur dosse (e=25 mm) Séchage depuis l'état vert		Débits sur quartier (e=50 mm) Séchage depuis l'état vert		Débits sur quartier (e=25 mm) Séchage final de bois présentant un taux d'humidité initial de 25%	
	T (°C)	H (%)	T (°C)	H (%)	T (°C)	H (%)	T (°C)	H (%)
Vert	49	72	43	84	43	84	-	-
60	49	72	43	84	43	70	-	-
40	54	62	49	80	49	60	-	-
30	60	54	49	72	54	52	-	-
25	60	54	54	62	60	46	62	52
20	71	43	60	54	71	43	70	45
15	71	43	71	43	71	43	71	43
Temps de séchage estimé (jour)	11-14		20-25		40-50		5	

Source : Division of Forest Products, CSIRO, Melbourne, Australia.

Jean GÉRARD, Henri BAILLÈRES

Programme Bois

CIRAD-Forêt

BP 5035

34032 Montpellier cedex

FRANCE

gerard.j@cirad.cirad.fr

# PRODUCTION DE CHARBON DE BOIS EN PLANTATION D'EUCALYPTUS

Qu'il s'agisse de reconversion ou de plantation à but énergétique, les eucalyptus ont fait l'objet de nombreux programmes de valorisation pour la production de charbon de bois. Le Brésil, premier producteur mondial de charbon de bois avec près de 11 millions de m<sup>3</sup>/an, utilise assez largement l'eucalyptus comme source de matière première. Paradoxalement, le charbon d'eucalyptus est souvent considéré dans certains pays comme un charbon de piètre qualité. Afin d'optimiser la production de charbon de bois en plantation, le CIRAD-Forêt a mené plusieurs programmes d'essais notamment au Togo et au Congo dont les principaux résultats sont présentés ci-après.

Des essais comparatifs ont été conduits sur deux espèces différentes d'eucalyptus au Togo. Cinquante carbonisations en four métallique transportable ont été contrôlées sur *Eucalyptus torelliana* et 32 sur *Eucalyptus tereticornis*. Les humidités des bois variaient de 15 à 50% sur brut pour les deux essences. Il est apparu assez clairement que le facteur essence joue un rôle important sur le rendement escomptable. Ainsi pour les humidités faibles, inférieures à 30%, optimales pour la carbonisation, les rendements moyens sont de 21,2% pour *E. torelliana* et de 25,6% sur *E. tereticornis*. À titre indicatif, avec le même type d'essais, mais dans des conditions légèrement différentes d'humidité (16 à 18%), on peut obtenir un rendement moyen de 23,9% en un hybride de PFI au Congo.



Préparation d'une meule casamançaise dans les plantations du projet AFRI (Togo), on notera l'importance de l'implantation au sol.  
Photo : P. GIRARD.

talité des souches que pouvait provoquer l'opération de carbonisation. Mis à part des dégradations sur les feuillages sans conséquences, aucune influence notable n'a été observée (pour autant que le minimum de précaution soit observé lors de l'installation des fours) et ce, au Togo comme au Congo.

Par contre, ces tests ont permis de confirmer ce qui est bien connu des carbonisateurs, à savoir, l'influence considérable du nombre de cycles de carbonisation sur un même emplacement, sur les rendements de carbonisation. Ainsi, on observe un gain moyen de rendement de 7% entre la première et la troisième carbonisation et de plus de 12% entre la première et la sixième (toute chose étant égale par ailleurs).

Plusieurs meules ont également été contrôlées lors de ces essais afin d'apprécier leur intérêt vis-à-vis des fours métalliques. Il s'agissait de meules forestières rectangulaires traditionnelles et de meules casamançaises. Les très bons résultats obtenus n'ont pas permis de mettre en évidence l'influence de la technique sur le rendement de carbonisation. En effet, qu'il s'agisse de fours métalliques, de meule traditionnelle ou de meule casamançaise, les rendements de la carbonisation sont équivalents, à qualité de charbon équivalente. Par contre, l'impact sur les plantations et les contraintes de mise en œuvre et de suivi ont été beaucoup plus forts avec les meules. Ces techniques ne seraient pas à recommander *a priori* pour la production de charbon de bois en plantation pour deux raisons essentielles : détérioration de souches du fait de l'implantation plus importante au sol des meules, risque d'incendie élevé en cas de mauvaise surveillance. Les fours métalliques présentent cependant l'inconvénient majeur de leur coût d'investissement.

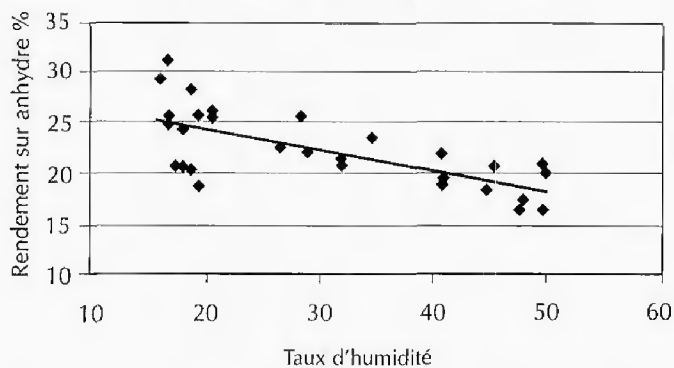
Des tests comparatifs de comportement à la cuisson de charbon d'*Eucalyptus robusta* avec des charbons de différentes essences indigènes ou introduites à Madagascar ont été également menés afin d'apprécier la qualité relative des charbons d'eucalyptus. Ces tests n'ont pas permis de mettre en évidence de différences significatives entre les essences, à l'exception du charbon de leucena qui présentait une puissance significativement plus faible que les sept autres espèces testées.

Ces différents travaux mettent en évidence que les eucalyptus permettent d'obtenir des charbons de bois d'excellente qualité eu égard aux utilisations tant industrielle que domestique avec des rendements de conversion de très bon niveau et cela quel que soit le procédé de carbonisation.

Philippe GIRARD  
CIRAD-Forêt  
BP 5035

34032 Montpellier - FRANCE  
gossset@cirad.cirad.fr

Rendement de carbonisation en fonction de l'humidité des bois d'*E. tereticornis*



L'influence sur l'humidité est également très significative sur *E. tereticornis* comme le montre la courbe ci-dessus alors que les résultats sont beaucoup moins significatifs sur *E. torelliana* avec notamment une grande hétérogénéité des résultats avec de faibles humidités (16 à 18%). En terme de qualité, les charbons de *E. tereticornis* présentent également une densité supérieure de 20% au *E. torelliana* et un pouvoir calorifique supérieur de 7%.

S'agissant de travailler en plantation, il était important d'apprécier les risques éventuels de dégradation sur les rejets, voire de mor-

# SCIAGE ET SÉCHAGE DE L'EUCALYPTUS GLOBULUS AU PORTUGAL

40

## Introduction

L'eucalyptus a été introduit au Portugal au début du siècle dernier. Avec plus de 60 mètres de hauteur, les eucalyptus sont les arbres les plus hauts d'Europe. L'*Eucalyptus globulus*, grâce à ses propriétés de blancheur en pâte à papier et à sa bonne adaptation aux conditions climatiques portugaises (climat océanique), voit sa surface forestière augmenter chaque année. De plus, l'assurance d'un revenu par la vente des arbres, tous les douze ans, incite les propriétaires forestiers à planter des eucalyptus.

Près de 18% des eucalyptus annuellement abattus au Portugal sont utilisés par les industries de transformation en **bois d'œuvre** : scierie, parquetterie, déroulage, tranchage... Ils sont issus de 135 000 ha de peuplement mixte en pin maritime -*Pinus pinaster* Ait.- et en eucalyptus de Tasmanie -*Eucalyptus globulus* Labill.

C'est dans ces peuplements qu'il est actuellement possible de s'approvisionner en eucalyptus de diamètre et d'âge suffisants pour fournir ces industries. Récemment, des plantations pures d'eucalyptus pour la pâte à papier ont été réalisées à partir des plants issus de culture *in vitro*.

L'utilisation finale de l'eucalyptus impose une parfaite maîtrise du **séchage** des débits, de même que la mise en œuvre de **techniques de transformation** adéquates et le **contrôle** permanent de la qualité du bois.

## Potentialités pour le bois d'œuvre

Afin de caractériser les potentialités de cette essence ligneuse, nous dressons un bilan rapide des avantages et inconvénients de l'*Eucalyptus globulus* portugais.

### Avantages :

- **bois à croissance rapide** : entre 30 et 35 ans, les arbres ont des diamètres supérieurs à 30 cm à hauteur d'homme ;
- **bois dur** et de résistance mécanique élevée ;
- bois de bon aspect **esthétique** : teinte du chêne sans maillure ;
- bois de  **finition** facile : coloration et vernis ;
- **collage** possible avec des colles polyvinyl Acétate (PVAC) largement commercialisées ;
- forte proportion de bois **sans nœud**.



Forêt mixte de pin maritime et eucalyptus.  
Photo : A. dos SANTOS.

## Inconvénients

Concernant le bois, les contraintes sont multiples :

- apparition de **fentes** en bout des billes et billons dès l'abattage en forêt ; ces fentes sont dues à la relaxation des **contraintes de croissance** (cdc) présentes dans les arbres sur pied ;
- **déformation** des débits pendant et après le sciage, toujours en conséquence des **cdc** résiduelles ;
- **séchage délicat**, lent et présentant des risques d'apparition de défauts ; collapse, forte déformation géométrique des débits, tensions apparaissant en fin de séchage ;
- forte **rétractation** lors du séchage ;
- mauvaise **stabilité dimensionnelle** des bois mis en œuvre : bois nerveux ;
- **durabilité naturelle moyenne** : l'aubier est rapidement « attaqué » par les lyctus ; les bois fraîchement abattus ou longuement entreposés avec leur écorce sont souvent infestés par la larve d'un cérambycide d'origine australienne - *Phoracantha semipunctata* Fab. - qui peut provoquer de gros dégâts dans le duramen ; le bois ne résiste que faiblement aux **termites**, aux térébrants marins et aux champignons lignivores ;
- difficultés de **préservation** des bois en **autoclave** : les vaisseaux sont obstrués par des thylls.

Par ailleurs, les moyens techniques propres à la **transformation** de cette essence ne sont pas ou peu connus.

Afin de pallier ces inconvénients, certaines règles de base doivent être respectées, notamment en matière de **choix des arbres**, de techniques de **sciage** ou **séchage**.

## Choix des arbres en forêt : abattage

La **sélection** des arbres en forêt est indispensable.

À défaut de critères plus fiables, il est conseillé de choisir des arbres au fût morphologiquement exempt de singularités telles qu'un fort élancement, la présence de grosses branches basses, un fût déformé (en tire-bouchon) ou fortement incliné.

Il faut exclure les arbres présentant une **pente de fil** très accentuée (difficultés de sciage, d'usinage et forte instabilité géométrique des débits) ou du « **fil ondulé** » (difficultés de séchage).



Il faut contrôler et atténuer la chute des arbres, en contre pente notamment : les chocs violents des gros arbres, pendant et en fin de chute d'abattage, provoquent des **cassures transversales** des fibres du bois. Ces chocs favorisent la propagation des fentes liées aux **contraintes de croissance**.

## Sciage

### Le facteur temps

Les billons doivent être sciés **le plus rapidement** possible après abattage.

En effet, la **dessiccation** des bois ronds peut provoquer d'importantes fentes en bout, pouvant (parfois) atteindre le roulant.

De plus, les **billons secs**, donc durcis, sont plus difficiles à scier. Ils nécessitent une puissance installée plus importante et, les scies s'échauffant, elles peuvent perdre de leurs qualités mécaniques.

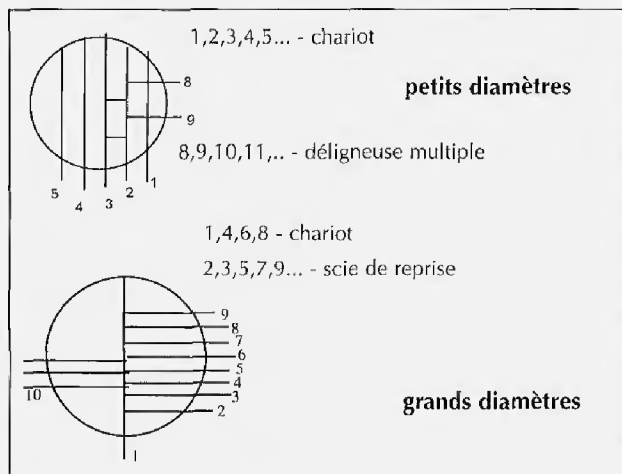
### La méthode de sciage

La méthode de sciage par un **premier trait de scie au centre du billon** (ou mieux, au **centre de la moelle**) suivi d'un **sciage parallèle** de chaque demi-cylindre à plat - cf. figure 1, grand diamètre - donne de bons résultats, tant en rendement qu'en qualité.

Les débits sur quartier et faux quartier sont ainsi rendus plus stables dimensionnellement en fin de séchage.

En fonction des diamètres et des produits recherchés, il est conseillé d'utiliser les techniques de sciage présentées dans la figure 1.

Figure 1 : Méthodes de sciage pour différents diamètres.



La puissance des moteurs des scies à ruban de tête doit être supérieure à 80 chevaux pour les billons supérieurs à 30 cm de diamètre.

Une ligne de sciage est généralement composée par :

- un **charriot**, en scie de tête ;
- une scie de reprise : une **scie à ruban** pour scier les grosses dosses et refendre les débits de double épaisseur ;
- une **déligneuse simple ou multiple**, en fonction des débits recherchés.

Le matériel doit être robuste. Un billon de trois mètres de long et de quatre-vingts centimètres de diamètre pèse plus de 1 700 kilogrammes. Les lignes de sciage des bois exotiques d'importation sont adaptées à cette essence.

*Eucalyptus globulus* n'est pas **abrasif** : les outils ne s'émoussent pas anormalement. Une scie à ruban avoyée par torsion ou par écrasement et avec un trait de scie de l'ordre de **deux fois l'épaisseur de la lame** est suffisante pour le sciage.

Les déformations des débits sont, en général, plus importantes près de la moelle et dans les billons tronçonnés près du houpplier.

L'écorce, qui se décolle facilement quand le bois est fraîchement abattu, entrave les opérations de sciage. Elle gêne les manutentions de débits et doit être retirée manuellement des circuits productifs et autour des machines de scierie. En effet, au Portugal, nous ne connaissons pas d'entreprise industrielle qui écorce mécaniquement les eucalyptus.

Les écorceuses d'*Eucalyptus globulus* sont différentes des écorceuses pour le pin maritime, l'écorce de cet eucalyptus est fibreuse : elle ne se déchiquette donc pas facilement. En Australie, les écorceuses pour ce type de bois utilisent des rouleaux porte-outils qui écorcent les billons en rotation. Une technique plus coûteuse permet d'écorcer les bois par jet d'eau sous forte pression. Mais il n'existe pas ce type d'écorceuse au Portugal.

## Séchage

Le séchage de *Eucalyptus globulus* doit être conduit lentement pendant les phases d'élimination de l'eau libre.

Autour du point de saturation des fibres (PSF), voisin de 35%, le bois se collapse facilement, même à l'air libre.

Les industriels portugais pratiquent couramment un ressuyage lent, suivi d'un séchage en cellule climatisée - air chaud et humide.

Les programmes de séchage artificiel permettent de sécher les bois verts jusqu'à une humidité voisine de 10%, et ce, en 12 à 25 jours en moyenne pour des épaisseurs respectives de bois de 12 et 30 mm.

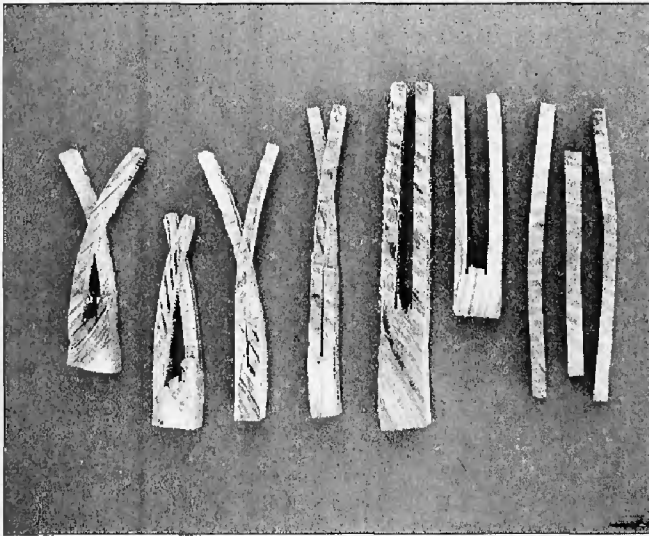
Pendant le séchage, il est fortement conseillé de charger les piles de séchage : 500 kg/m<sup>2</sup>. Cette technique permet de limiter fortement les déformations des débits : tuilage, vrillage...

Après séchage, il faut vérifier l'état de tension interne des pièces de bois, même de faible épaisseur. Une caractéristique simple de cet état de tension est donnée par l'analyse visuelle d'échantillons issus des débits séchés, sciés en fourche.

Si l'éprouvette en fourche se déforme dès le sciage, le bois présente des tensions internes.

Si cette déformation n'apparaît qu'au bout de 24 heures, l'humidité du bois est irrégulière entre l'extérieur et l'intérieur des débits.

Éprouvettes de contrôle des tensions internes de séchage.  
Photo : A. dos SANTOS



42

Les bois bien séchés ne développent pas de déformation : éprouvette ST.

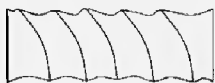
La diminution du gradient d'humidité présent à l'intérieur du bois se fait en fin de séchage à une température de 60°C et une humidité relative de l'air proche de 90%, ceci pendant six à douze heures – phase de stabilisation.

La relaxation des tensions internes dues au séchage se fait pendant ledit séchage, quand le bois présente une humidité comprise entre 12 et 20%.

Ce cycle de reconditionnement est un traitement thermique - étuvage- à 100°C, en état de saturation d'humidité de l'air pendant quatre à six heures et sous une atmosphère de pression.

Cet étuvage permet aussi de récupérer le collapse mais non les fentes internes si elles existent.

Les fentes de surface se développent si le séchage du bois vert est trop rapide ou si les débits sont soumis à une insolation directe. Ces fentes peuvent se refermer en dessous du point de saturation des fibres. Elles réapparaissent lors de l'usinage.



Collapse sans fentes internes



Collapse présentant des fentes internes

## Seconde transformation du bois

Au moyen d'une machinerie adaptée à l'usinage des bois durs, il est possible de corroyer et de moulurer l'*Eucalyptus globulus*.

L'état de surface du bois est dépendant de la qualité des outils.

Afin d'éviter l'arrachement des fibres dans les zones de contre-fil, il faut : soit diminuer la vitesse d'avance ; soit augmenter la vitesse périphérique des outils (plus de 5 000 rotations/minute des porte-outils).

Le collage du bois est une technique qui permet l'obtention de pièces de dimensions stables.

Le bois sec reçoit, sans difficulté, les produits de finition.

De même, il est facilement imprégnable superficiellement, par des produits de préservation.

Cette préservation est **impérative** si le bois contient de l'**aubier**.

Les assemblages mécaniques seront faits, de préférence, par collage ou boulonnage.

Le bois d'eucalyptus sec se fend au clouage et au vissage sans avant trous.

## Conclusion

Le bois d'eucalyptus convenablement séché est un matériau qui s'usine facilement : corroyage, tournage, moulurage, ponçage et perçage.

Il présente un aspect de surface agréable, de bonne qualité esthétique. Cette essence, à croissance rapide, développe un **bois dur**, de résistance mécanique élevée.

Ce bois est adapté aux sollicitations mécaniques sévères : **chocs**, rayures et poinçonnement.

Il représente aussi un bon matériau pour la **conception de structures**, tant en menuiserie qu'en construction.

Comme l'eucalyptus est essentiellement utilisé en bois de **trituration**, ce bois est communément considéré comme un bois de qualité médiocre et de faible valeur économique.

Le bois d'*Eucalyptus* est malheureusement peu utilisé dans les emplois nobles. Il pourrait cependant remplacer des bois exotiques d'importation. Par ailleurs, ce bois pourrait se substituer aux bois indigènes et s'exporter vers les pays déficitaires en ce matériau.

Mais, en sus des difficultés techniques de transformation, il s'agit de **convaincre le consommateur final des propriétés technologiques du bois d'eucalyptus et l'informer des différences entre le pin et l'eucalyptus**.

Comme le font déjà certains industriels qui utilisent l'eucalyptus en ameublement, nous espérons que la connaissance démontrée des possibilités de cette essence permettra une évolution de l'état d'esprit méfiant et que l'amélioration de son image de marque incitera plus largement les industriels à investir dans des technologies et équipements propres à sa transformation en bois d'œuvre, de forte valeur ajoutée.

Jean-Marie PAYA  
Madeiragueda  
Nova Borralha  
P-3750 Agueda  
PORTUGAL

José António dos SANTOS  
Estrada das Palmeiras  
Queluz de Baixo  
P-2775 - Barcarena  
PORTUGAL  
joansantos@mail.telepac.pt

# LES EUCALYPTUS DANS LE DELTA DU MÉKONG

Les eucalyptus sont présents partout au Vietnam, et principalement *E. camaldulensis* (pur ou dans des formes hybridées avec *E. tereticornis*) qui est planté du nord au sud, dans les conditions les plus variées.

On ne plante pas que *E. camaldulensis* au Vietnam, mais encore des filaos (*Casuarina equisetifolia*), des pins (*Pinus kesiya*, *P. merkusii*), des tecks (*Tectona grandis*), des acacias australiens (*Acacia auriculiformis*) ; mais c'est bien par les eucalyptus que le pays procède actuellement à l'intense effort de reboisement (70 000 à 100 000 hectares par an) qui vise à la reconstitution de sa couverture arborée, gravement altérée dans la presque totalité des provinces, y compris dans le delta du Mékong.

Les eucalyptus, nouvel élément du paysage dans le delta du Mékong. Photo : C. BARBIER.



43

## Le delta du Mékong

Avec près de quatre millions d'hectares, le delta du Mékong est un vaste système de terres et d'eaux formé par les cinq branches du fleuve et trois rivières de moindre importance. Son élévation au-dessus du niveau de la mer varie de deux à six mètres selon les saisons, les crues et les marées et sa surface ne cesse de s'étendre du fait du dépôt des limons charriés.

La végétation naturelle est constituée en front de mer de mangroves à *Rhizophora* et *Bruguiera*. Elles ont particulièrement souffert des défoliants pendant la guerre et se reconstituent aujourd'hui naturellement ou par plantation.

En arrière des mangroves, se trouvent des formations à "tràm" (*Melaleuca leucadendron*). Ces formations, outre les faits de guerre, ont fait l'objet d'exploitations incontrôlées, tant pour le bois (feu et construction) que pour la distillation des feuillages pour l'obtention du goménol. Des aménagements ont été conçus pour le reboisement en *Melaleuca*. Ils supposent la maîtrise des inondations et... des feux, pour des coûts élevés. 80 000 hectares auraient déjà ainsi été plantés.

Dans le reste du delta, partout où les terres ont pu être aménagées, elles ont été consacrées à la culture du riz irrigué avec, parfois, de la pisciculture ou de l'élevage associés.

Ailleurs, la mise en valeur des terres dépend essentiellement des contraintes chimiques des sols. Lorsqu'il n'existe aucune contrainte, ou lorsqu'elles sont très faibles, il y a encore possibilité de cultiver le riz flottant qui se sème à sec et se développe avec la crue.

Mais il arrive fréquemment que les sols présentent de graves contraintes dues à une salinité ou à une acidification excessives (sulfures et sulfates formés par évolution des sols d'anciennes mangroves). Aucune culture ne peut plus alors y être pratiquée sans recours à de lourds investissements comme endiguements, planages, billonnages, apports de chaux.

## Et les eucalyptus dans tout cela ?

Il existe au Vietnam deux grands modèles de reboisement, l'un de type conventionnel, mené par les services forestiers provinciaux et les compagnies forestières, l'autre de type spontané, mené par les paysans.

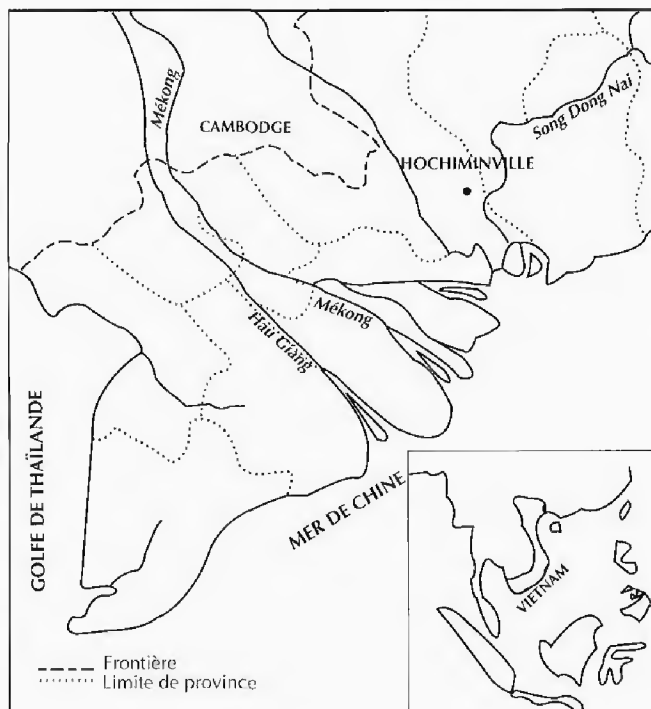
Dans le premier cas on relève, sans contester de belles réussites, toutes les carences du schéma étatique appliqué à la production agricole, à savoir, principalement, le manque d'objectifs sylvicoles précis, la recherche de la performance quantitative au détriment de la qualité et du suivi, et enfin, des coûts élevés au regard des taux de réussite.

Il nous a été permis de constater combien étaient sensibles les instances provinciales et comités populaires à la notion de reboisement "écologique" visant une reconstitution des formations originelles (mangroves, «tràm», formations à Diptérocarpacées, pineraies mélangées...). Peut-être ceci constitue-t-il une reconnaissance implicite du partage des rôles entre ce qui relève du domaine public et du domaine privé ?

C'est du moins ce qui apparaît dans le delta du Mékong où, d'ores et déjà, plus de 60 000 hectares d'eucalyptus auraient été plantés sur initiatives privées pour seulement 4 000 à 5 000 hectares plantés par les services provinciaux.

Comment expliquer un tel développement ? Certainement par la découverte d'une nouvelle relation, entre le paysan et l'eucalyptus, du même type que celles nouées depuis des temps immémoriaux avec le riz et le buffle ; relation récente et déjà assimilée, car également bénéfique.

*Eucalyptus camaldulensis*, par ses affinités avec l'eau, sa rusticité et sa tolérance à de multiples contraintes, était l'espèce prédestinée. Elle constitue aujourd'hui un des éléments du paysage du delta.



Dans les zones rizicoles aménagées, une intense activité forestière liée à la plantation d'eucalyptus s'est développée sur les diguettes des casiers, les talus des canaux, le long des pistes et sur toutes les terres émergées. L'essentiel des plantations est donc réalisé sous forme linéaire et en boisement diffus autour des habitations, constituant un véritable bocage.

Dans les zones de colonisation récente, aux confins de la frontière cambodgienne, la culture du riz trouve ses limites en l'absence de tout aménagement hydraulique. Sans possibilité d'autre spéculation, les paysans se sont lancés dans la plantation de l'eucalyptus. Ils en ont d'abord planté sur les talus des routes et sur toutes les terres les plus hautes, hors d'eau en période de crue. Et devant les bons résultats constatés, ils ont étendu les zones de plantation à des terres plus basses, subissant des périodes d'inondation de plus en plus longues.

La croissance des eucalyptus en pâtit, bien sûr (après quelques semaines d'inondation, les feuillages deviennent tout rouge, par asphyxie), mais leur production reste notable.

Pour compenser ces moindres croissances et une mortalité importante, les paysans plantent les arbres à la densité de 10 000 plants/ha.

À la différence du modèle agroforestier, ce modèle de plantation en plein, à haute densité, est très extensif ; les arbres ne bénéficiant quasiment d'aucun travail du sol ni d'entretien. Mais dans les deux cas, il y a deux constantes majeures.

La première tient à la maîtrise de la production des plants. Pour satisfaire la demande des planteurs, d'innombrables "petites" pépinières privées produisent, tout au long des routes, des millions de plants. Les semis s'effectuent sur des planches sommairement délimitées par un cadre de bambou, sur un lit de balles de riz. Remplissage des sachets et repiquage se font avec des rythmes et une qualité de travail remarquables. La distribution des plants est facilitée par la taille des sachets (4 cm de diamètre pour 6 cm de hauteur), une seule personne pouvant en porter 1 500 dans les deux paniers de son balancier.

L'autre constante tient à la réalité de l'exploitation commerciale de ces plantations. Les tiges sont débitées en billons de deux mètres et écorcées. Les billons sont acheminés par barque en bord de route où ils sont enstérés en attente de leur transport par camion vers un port. Toutes les parties non commercialisées de l'arbre trouvent facilement un usage local sous forme de perches, piquets ou bois de feu.

## Quel avenir pour les eucalyptus dans le delta ?

Il est vraisemblable que les besoins en bois du pays vont aller toujours croissant pour satisfaire son développement économique. La demande industrielle actuelle en bois de trituration pour l'usine de pâte de Tan Mai, et future, pour d'autres unités, la demande domestique en bois de feu et charbon de bois des populations rurales et urbaines, enfin la recherche de devises par l'exportation, justifient pleinement d'immenses surfaces plantées. Ces surfaces existent, notamment sur terres grises dans les provinces de Dong Nai et Song Be au nord d'Ho-Chi-Min-Ville. Mais la mise en valeur de ces terres n'est pas si facile et leurs potentialités sont certainement assez faibles.

Aujourd'hui, on sait planter les eucalyptus dans le delta du Mékong. Tous les linéaires de talus et de diguettes sont encore loin d'être valorisés. Beaucoup de surfaces sont encore disponibles pour être plantées en plein. Mais surtout de grands progrès sont encore possibles pour y faire progresser les rendements.

L'attente des paysans est vive, leur capacité de réaction éprouvée. Il reste à faire un minimum d'efforts en matière de recherche et de vulgarisation pour y parvenir.

**Claude BARBIER**

CRPF de Franche-Comté  
22bis rue du Rond Buisson  
25220 Thise FRANCE  
crpffc@besancon.net



Mini-pépinière d'eucalyptus le long d'une route sur digue.  
Photo : C. BARBIER.

# LA DYNAMIQUE SÉCULAIRE DES PLANTATIONS PAYSANNES D'EUCALYPTUS SUR LES HAUTES TERRES MALGACHES

*L'eucalyptus, en particulier l'Eucalyptus robusta, a été introduit à Madagascar au début du siècle dans les bagages du colonisateur français. On observe depuis une dynamique de plantations paysannes spontanées qui s'est développée en un siècle sur les Hautes Terres et en particulier sur la zone orientale des Hautes Terres autour d'Antananarivo. Une telle dynamique de plantations paysannes spontanées se développant sur tout un siècle constitue un phénomène remarquable qui ne se rencontre pas ailleurs en Afrique à une échelle comparable. Un certain nombre de facteurs explique le développement et la poursuite de cette dynamique de sylviculture paysanne qui fait des paysans malgaches, pourtant montrés du doigt comme responsables de la déforestation de la Grande Île, de véritables "paysans de l'arbre" (RABETALIANA, 1988).*

## L'introduction de l'eucalyptus et son utilisation par les paysans malgaches des Hautes Terres

45

Dès la conquête en 1898, le Gouverneur Général Gallieni décide le lancement des travaux de création simultanée de la route et du chemin de fer entre Tamatave et Tananarive (aujourd'hui Toamasina et Antananarivo ; LOUVEL, 1952).

### L'arrivée de l'eucalyptus avec les colons français, la route et le chemin de fer

Dès le début des travaux, l'eucalyptus, et en particulier l'*Eucalyptus robusta*, est introduit tout le long des travaux à la fois comme arbre d'alignement planté au bord des routes et comme arbre à planter pour pouvoir approvisionner le futur chemin de fer en combustible. Au début de la colonisation française le projet colonial français était de faire de Madagascar une colonie de peuplement. L'installation de colons français était donc encouragée et en particulier le long de l'axe Tamatave-Tananarive (BERTRAND & LE ROY, 1991).

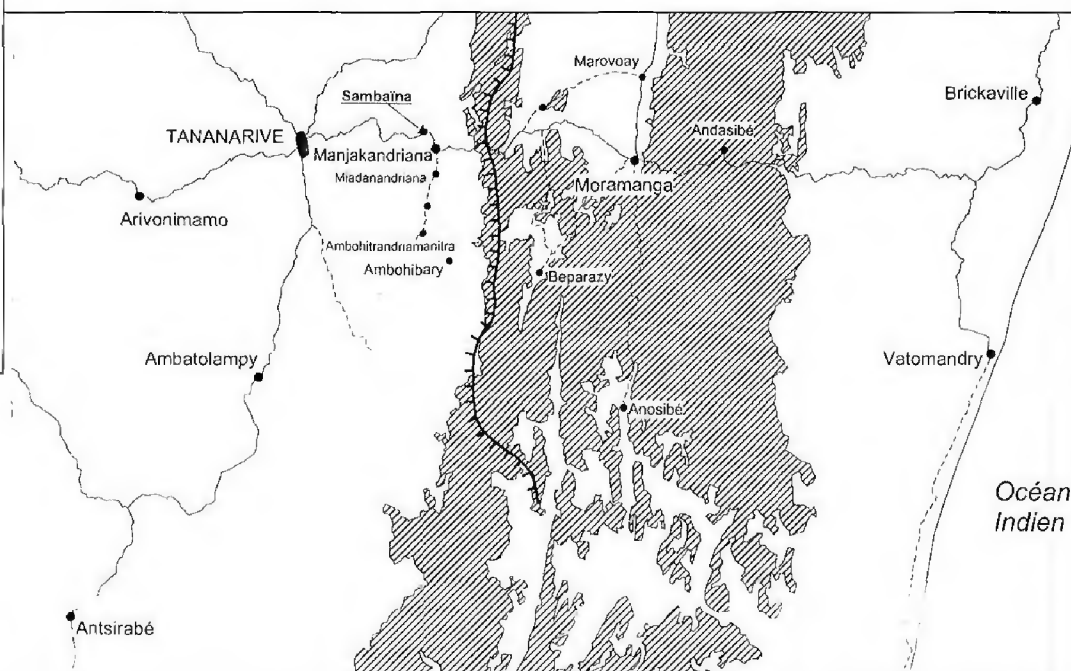


Sciage de long de l'eucalyptus, 1989.  
Photo : A. BERTRAND.

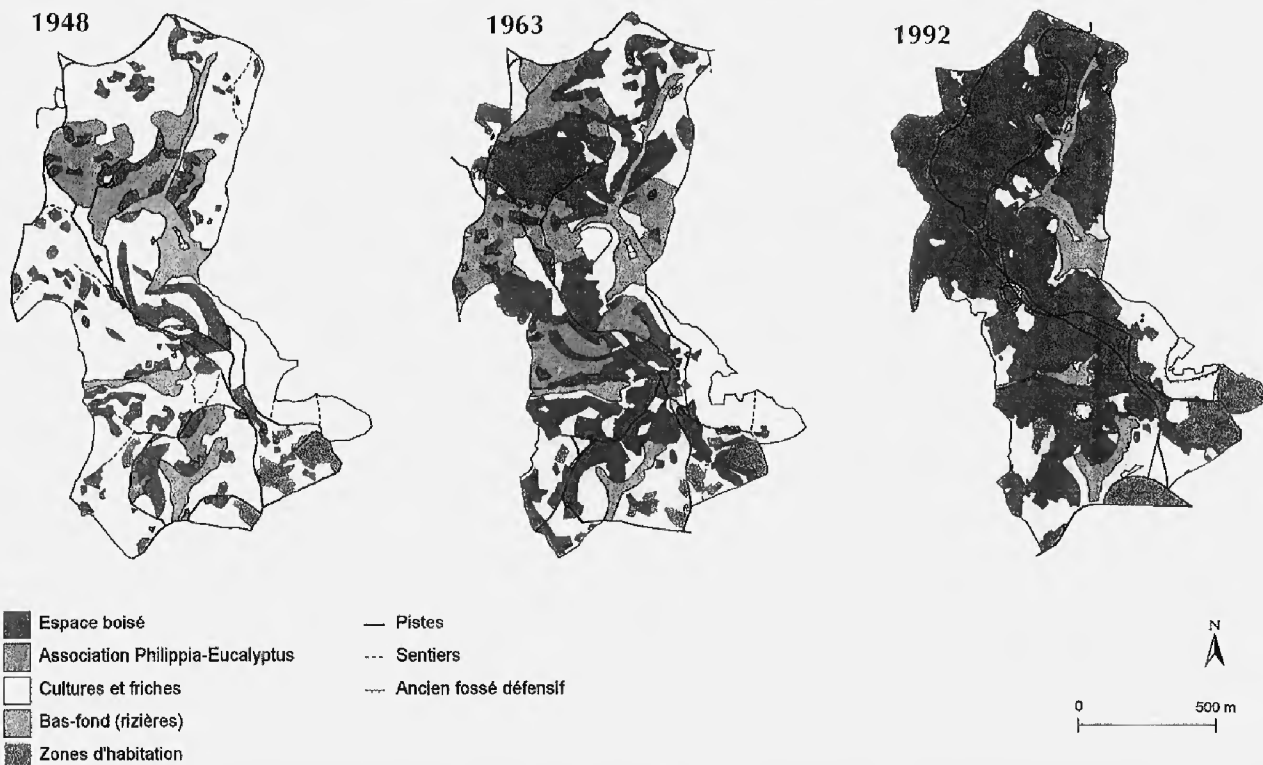


- Forêt naturelle
- Falaise de l'Angavo
- Route principale
- Route secondaire
- Ville principale
- Ville secondaire

0 50km



OCCUPATION DE L'ESPACE  
LE TERRITOIRE DE FOKONTANY DE SAMBAINA EN



46

Les paysans malgaches, tout spécialement sur les Hautes Terres, ont été très rapides à s'approprier l'eucalyptus. Dès 1904 on observe les premières ventes de plants entre paysans dans les environs de Manjakandriana. Les plants d'eucalyptus sont rapidement diffusés de part et d'autre de l'axe routier en construction par les écoliers qui les chapardent dans les pépinières scolaires et les ramènent dans les villages même éloignés de la route.

**L'eucalyptus un outil de la défense foncière contre l'installation des colons**

L'installation programmée des colons français est bien entendu perçue comme une menace par les paysans malgaches. Ceux-ci sont très rapides en maints endroits (en particulier autour de Manjakandriana) à développer une stratégie défensive pour bloquer l'installation de colons français. Ils utilisent à cet effet une loi promulguée dans les années du protectorat, avant la conquête, organisant l'immatriculation collective " indigène " des terres en nom collectif. La majeure partie des terres est ainsi revendiquée et immatriculée collectivement par des groupes de chefs de familles ou de chefs de lignages en cercles sur les terroirs autour des villages (BERTRAND & LE ROY, 1991).

L'eucalyptus est aussitôt utilisé comme arbre marqueur des limites des nouvelles terres immatriculées. Il devient donc un outil essentiel de la défense foncière contre l'installation des colons.

*1 C'est à ce moment que l'élevage se transforme sur les Hautes Terres et passe d'un élevage mobile extensif de troupeaux à un élevage intensif de production de bœufs d'emboche en fosse pour approvisionner en viande et en lait les consommateurs urbains de Tananarive.*

**Une dynamique séculaire de plantations forestières paysannes**

**La combinaison des motivations foncières et financières explique la persistance de cette dynamique de plantations paysannes sur un siècle**

Mais dans le même temps, nombre de paysans malgaches ont compris tout le parti commercial qu'ils pouvaient tirer de la vente de bois au chemin de fer pour faire circuler les locomotives. L'eucalyptus ne reste pas seulement sur les limites des nouvelles terres immatriculées. Il est progressivement planté sur les *tanety* (collines) déjà déforestées de longue date et qui sont des pâturages pauvres couverts de landes à *bozaka* (graminées et éricacées)<sup>1</sup>.

Les plantations d'eucalyptus les plus proches de la capitale contribuent rapidement à l'approvisionnement énergétique en bois de feu puis en charbon de bois des ménages urbains les plus favorisés (BERTRAND, 1989). En effet au début du siècle, en raison de la rareté des ressources ligneuses sur les Hautes Terres, le combustible domestique habituel le plus courant à Tananarive était le *bozaka* (herbe séchée).

La politique foncière de Galliéni de "domanialisation" des terres "vacantes et sans maître" et de développement par l'extension de la propriété privée contribua encore à l'extension de l'eucalyptus. Pour récupérer des terres devenues domaniales et accaparées par l'État, il fallait les mettre en valeur. La plantation d'eucalyptus apparaissait à la fois comme un moyen particulièrement économique de réaliser cette mise en valeur, donc d'accéder au foncier et comme un investissement susceptible de rapporter de façon sûre des revenus à intervalles réguliers de quelques années.

Lorsqu'en 1945 le chemin de fer a abandonné le bois comme combustible pour les locomotives, le développement de la demande urbaine de Tananarive était déjà sensible et la demande finale persistant, la dynamique des plantations paysannes ne s'est pas arrêtée.

C'est ainsi que l'eucalyptus a progressivement conquis des espaces considérables sur les Hautes Terres orientales proches de Antananarivo. C'est aujourd'hui un véritable massif forestier continu qui s'étend sur une superficie de plus de 100 000 hectares du sud d'Anjozobe jusqu'au lac Tsiacompaniry. Sur certains terroirs, l'eucalyptus occupe aujourd'hui plus de 70% de la superficie totale. Les cartes du terroir de Sambaina illustrent cette progression spectaculaire de l'eucalyptus sur plusieurs décennies (cf carte).

### **L'eucalyptus, source indispensable de revenus ruraux et culture de rente**

Si l'eucalyptus a pris une telle importance spatiale c'est bien parce qu'il constitue pour la majeure partie des ménages ruraux la meilleure source de revenus complémentaires indispensables à leur survie et à l'achat de riz. En effet, dans cette zone l'exiguïté des bas fonds, la "forte densité de population", de l'ordre de 100 habitants/km<sup>2</sup> et la rusticité des pratiques agraires de la riziculture (labour manuel à l'*angady*, bêche lancée) rendent impossible l'autosuffisance alimentaire<sup>2</sup>.

Les paysans sont contraints à la pluriactivité. Les activités les plus lucratives étant d'abord la production de lait pour la vente en ville, le maraîchage dans certaines zones proches d'Antananarivo (ITEN, 1994). Les métiers de la sylviculture et de l'exploitation de l'eucalyptus sont multiples : propriétaire forestier, exploitant forestier, tâcheron bûcheron ou charbonnier, scieur de long, etc. Ils sont aussi parmi les plus facilement accessibles à la majorité des paysans (BERTRAND, 1989).

Par ailleurs, les femmes et les enfants exercent aussi de multiples autres activités sur les plantations forestières paysannes d'eucalyptus. Les besoins de revenus monétaires sont tels que tout ce qui peut se vendre se collecte et se vend en bord de route : champignons, écrevisses, miel, produits de cueillette à usage pharmaceutique ou aromatique (pour l'exportation), fibres, etc. et même la litière de feuilles décomposées d'eucalyptus se récolte et se vend comme engrais de complément (RAKOTOVAO, 1995).

L'eucalyptus a progressivement éliminé les autres cultures pérennes de rente : le café (*arabica*), pourtant relancé par des actions de développement il y a une dizaine d'années, reste une culture d'autoconsommation. En effet, l'eucalyptus ne nécessite que peu de travaux pour l'installation d'une plantation qui va ensuite produire sans entretien pendant près d'un siècle en étant exploité tous les trois ou quatre ans. Dans certaines zones, les paysans maîtrisent très bien la régénération naturelle de l'eucalyptus : pour installer une plantation, il suffit de planter deux lignes de plants sous la crête. Quand les arbres fructifient (parfois dès six ou sept ans sur sols pauvres sous les crêtes), il suffit de brûler systématiquement tous les ans. Les semis d'eucalyptus s'installent et résistent mieux au feu que le *Philippia*<sup>3</sup> et les fougères des étendues de bozaka. La vente des produits est assurée

<sup>2</sup> En 1991, autour de Manjakandriana, le déficit d'autoconsommation était évalué en moyenne à six mois de consommation de riz.

<sup>3</sup> *Éricacée* (*bruyère*) buissonnante qui couvre les *tanety*.

sans difficulté à tout moment à un prix connu d'avance. À l'inverse une plantation de caféiers demande des travaux lourds, des entretiens astreignants, et la production ne peut être vendue qu'occasionnellement au collecteur à un prix jugé souvent (à juste titre) très décevant par les paysans (BERTRAND, 1992).

### **Croissance urbaine, extension de la zone d'approvisionnement d'Antananarivo et progression de l'eucalyptus**

Depuis l'indépendance, le développement urbain d'Antananarivo a soutenu la demande de combustibles ligneux, produits de première nécessité et d'usage quotidien, bois de chauffe mais surtout charbon de bois. Le bassin d'approvisionnement en bois-énergie d'Antananarivo s'étend vers l'est au-delà de Moramanga jusqu'à Andasibe, presque jusqu'au Lac Alaotra, vers le nord jusqu'à Anjozorobe, vers le sud jusqu'au massif du Vakinankaratra au-delà d'Ambohibary. Les plantations paysannes d'eucalyptus du seul massif de Manjakandriana fournissent plus de la moitié du bois-énergie (charbon de bois et bois de chauffe) consommé à Antananarivo représentant pour près de 1,5 millions d'habitants une récolte forestière de l'ordre d'un million et demi de m<sup>3</sup> de bois.

On peut affirmer que sur les Hautes Terres Orientales, l'eucalyptus est la culture qui a connu sur un siècle le développement le plus spectaculaire. Dès qu'une piste s'ouvre, les paysans commencent à investir les *tanety* déboisées de longue date pour installer des plantations d'eucalyptus (BERTRAND, 1992).

Il existe à Madagascar, plusieurs zones où les plantations d'eucalyptus ont été suffisamment nombreuses, groupées et/ou importantes pour que l'on puisse véritablement parler de la constitution de massifs forestiers (parfois plus ou moins morcelés ; SCHMITT & RASAMINDISA, 1998) :

- la dépression de l'Ankay et la cuvette de l'Alaotra entre la RN2 au sud et le lac Alaotra,
- le massif de Manjakandriana entre Anjozorobe et les lacs de Mantasoa et Tsiacompaniry,
- le massif de Moramanga-Andasibe le long de la RN2 et de la voie ferrée Toamasina-Antananarivo,
- la région de Fianarantsoa-Ambositra beaucoup plus au sud des Hautes Terres (et hors de la zone d'approvisionnement d'Antananarivo).

Sur la périphérie de la plupart de ces massifs, la progression de l'eucalyptus se poursuit. C'est le cas dans la région de l'Alaotra (où l'on a pu parler d'une guerre de l'eucalyptus), vers Anjozorobé, au sud de Manjakandriana, vers Andasibe, etc.

### **Les filières "eucalyptus": charbon et bois d'œuvre, l'impact des marchés urbains**

#### **Micro-propriété forestière et filières d'approvisionnement urbain en eucalyptus**

Les productions des plantations forestières paysannes d'eucalyptus sont nombreuses. Les massifs surtout les plus vastes et les plus continus sont en fait constitués de la juxtaposition de très nombreuses petites parcelles gérées individuellement par un pro-

priétaire forestier foncièrement individualiste (BIGOT *et al.*, 1992). Les peuplements d'eucalyptus produisent par ordre d'importance décroissante (en volume de bois brut exploité) du charbon, du bois de chauffe, du bois d'œuvre, du bois de service. Économiquement le bois d'œuvre d'eucalyptus doit être aujourd'hui plus important que le bois de chauffe.

Chaque propriétaire choisit de gérer sa ou ses parcelles comme il l'entend, en général pour en tirer le revenu à la fois le plus important, le plus régulier et le plus fréquent possible. Les parcelles les plus petites ont quelques dizaines d'ares après que les plantations individuelles aient été divisées sur plusieurs générations. Les plantations récentes sont en général plus importantes de l'ordre de quelques hectares à quelques dizaines d'hectares. Il existe aussi en petit nombre des plantations d'eucalyptus de superficie plus vaste réalisées par des entreprises coloniales (féculeries, etc.) ou le long des voies ferrées pour approvisionner le chemin de fer.

Les petits propriétaires, les plus nombreux, et la majorité des autres choisissent de gérer leurs plantations en taillis simple. Après une première coupe opérée généralement entre sept et huit ans après la plantation, les coupes se succèdent en fait tous les quatre ou cinq ans voire même tous les trois ans. Ces taillis sont exploités pour la fabrication de charbon de bois par des tâcherons dans de petites meules en fosses installées à demeure dans les parcelles.

Certains propriétaires de parcelles plus importantes privilégient la production de perches de bois de service et/ou de bois de chauffe pour l'alimentation des boulangeries et des fours à briques traditionnels sur les Hautes Terres. Depuis une dizaine d'années les propriétaires ont adopté la pratique de l'arasage des souches<sup>4</sup> observée sur une expérimentation sylvicole du FOFIFA-DRFP<sup>5</sup>. L'exploitation des vieilles souches fournit un bois de chauffe particulièrement dense et apprécié par les boulangers.

Comme dans la plupart des grandes villes du tiers monde, les filières d'approvisionnement en produits ligneux d'Antananarivo sont des filières informelles qui fonctionnent quasiment à flux tendus avec une efficacité et une adaptabilité remarquables.

## La filière charbon entre pauvreté urbaine et pauvreté rurale

La filière charbon de bois illustre parfaitement l'efficacité des opérateurs du secteur informel pour assurer l'approvisionnement des populations urbaines en charbon, combustible domestique de base, produit de première nécessité et d'usage quotidien. Les conditions économiques qui s'imposent aux opérateurs de la filière charbon sont au fil des années devenues particulièrement contraignantes. En raison de la misère urbaine et de la faiblesse du pouvoir d'achat des consommateurs, les prix du charbon sont stables ou même orientés à la baisse en francs malgaches constants (BERTRAND, 1992).

Pourtant les coûts opératoires d'un certain nombre d'acteurs sont eux croissants depuis de nombreuses années : les coûts de transport (essentiellement par camions) dépendent directement

4 Le traitement en taillis simple est bien souvent en fait un traitement en têtard avec une souche qui monte progressivement à chaque cycle de coupe jusque vers plus d'1,50 m de haut.

5 FOFIFA-DRFP : centre national de recherche appliquée au développement rural.

Exploitation de bois de chauffe dans la région Mananjakandriana et réserve de balivaux pour constitution d'un taillis sous futaie. Photo : A. BERTRAND.



des prix des carburants et des pièces détachées ; ils ont donc subi directement l'impact de la dépréciation du franc malgache par rapport aux devises. La répartition des marges entre les différents niveaux de la filière est donc remise en cause durablement. Les marges des commerçants se réduisent progressivement, comme les revenus des producteurs forestiers.

La production de charbon n'est donc pas pour les ruraux un moyen de sortir de la misère rurale, c'est seulement un moyen d'obtenir d'indispensables revenus de survie. Face à la baisse tendancielle du prix du bois, la réponse des ruraux est donc de chercher à maintenir leur revenu nominal et donc d'augmenter l'offre de bois. La contrainte économique qui enserrme la filière charbon entre la pauvreté urbaine et la pauvreté rurale contribue encore à entretenir la dynamique séculaire des plantations forestières paysannes.

## Le développement progressif de la filière bois d'œuvre et le passage du taillis simple vers le taillis sous futaie ?

On assiste depuis quelques années à un développement sensible de la consommation urbaine de bois d'œuvre d'eucalyptus. L'urbanisation et le développement des chantiers de construction et de travaux publics maintiennent la demande de sciages de bois de charpente et ou de coffrage à un niveau élevé. Pour cette gamme de produits, les Malgaches ont découvert que leurs bois de plantations forestières fournissaient des produits adaptés à la demande. Le pin et l'eucalyptus sont à la fois concurrents et complémentaires sur ce marché. La gamme d'utilisation du bois d'*Eucalyptus robusta* est plus large que celle du pin même si la fabrication de meubles en pin se développe rapidement (GUÉNEAU, 1969).

Les gros eucalyptus sont donc particulièrement recherchés par les scieurs de long. Il semble donc que depuis une dizaine d'années de plus en plus de propriétaires forestiers laissent lors de l'exploitation de leurs parcelles pour la production de charbon quelques arbres en réserve, particulièrement dans les fonds de vallons où la croissance est la plus rapide. Va-t-on vers le développement progressif d'une sylviculture en taillis sous futaie ?

Alain BERTRAND

CIRAD-Forêt

Programme "Forêts naturelles"

BP 5035

34032 Montpellier cedex1

FRANCE

alain.bertrand@cirad.fr



# L'EUCALYPTUS AU BURUNDI

## L'arbre à usages multiples

### Introduction

Au Burundi, plus de 96% de l'énergie utilisée proviennent du bois, des résidus agricoles et de la biomasse lignocellulosique (Ndikumagenge, 1997). Malgré que plusieurs espèces forestières et agroforestières aient été introduites depuis le début du siècle, l'*Eucalyptus* est l'essence qui s'est le plus répandue et qui a suscité le plus d'intérêt auprès des populations. Quoique cette essence ait été initialement introduite pour combler le déficit en bois de feu, ses usages se sont multipliés et diversifiés au fur des années. En effet, force est de constater que de nos jours, "*L'eucalyptus est la principale composante des boisements en milieu rural*" (Ndimira, 1992). Cet article montre l'évolution historique du rôle de l'eucalyptus dans le contexte socio-économique burundais. Il passe ensuite en revue ses multiples usages et donne des précisions sur les différents contraintes inhérentes à son utilisation et à son expansion.

### Évolution historique de l'eucalyptus au Burundi : une expansion croissante

Les premiers rapports des forestiers belges sur l'introduction de nouvelles essences au Burundi en 1930 préconisent l'utilisation des eucalyptus dans le reboisement, considéré à l'époque comme une "*action salutaire*". "*Nous ne pouvons dire encore que le déboisement systématique ait pris fin, la surveillance est en effet fort difficile, mais quelques reboisements en eucalyptus ont été faits dans les zones défrichées, et cet exemple sera sans doute salutaire*" (Ministère des Colonies, 1928). En 1934, on signale que plus de 4 000 hectares d'eucalyptus sont déjà installés dans le cadre des travaux forcés.

L'installation des arbres d'alignement et des plantations individuelles d'eucalyptus en 1934 constitue une nouvelle une nouvelle forme de plantation. Ainsi, "*il fut enjoint aux collectivités indigènes de faire des plantations d'arbres le long des routes et de planter de surcroît, 25 eucalyptus par enclos*" (Ministère des Colonies, 1934). En 1934, les arbres d'alignement sont installés sur plus de 697 km de route.

Dans les boisements économiques installés en régie depuis 1952 grâce à la main d'œuvre salariée, l'eucalyptus occupe une place de choix.

Enfin, les reboisements industriels domaniaux, communaux et privés installés depuis 1976 grâce à l'appui des bailleurs de fonds à travers différents projets comportent également une forte proportion d'eucalyptus comme le montre le tableau 1.

1 L'eusine (*Eleusine coracana*) est une graminée alimentaire semée à la volée et souvent utilisée comme culture d'ouverture.

2 Technique utilisée avant la plantation à racine nue de certaines essences comme le teck, *Gmelina arborea*, *Cassia siamea*, l'eucalyptus, le stumping consiste à couper à 3 à 6 cm du collet la partie aérienne du plant.

Tableau 1 : répartition des essences dans les différentes plantations de 1976 à 1989

Type d'essence	Superficie totale en hectare	Pourcentage
<b>Eucalyptus</b>	<b>12 849</b>	<b>25,6</b>
Pin	10 339	20,4
Cypré	2 339	4,7
Grevillea	532	1,1
Callitris	753	1,5
Autres	23 386	46,7
<b>Total</b>	<b>50 088</b>	<b>100</b>

Source : Claude Roy, 1990.

Alors que plusieurs financements ont été consentis en faveur des plantations domaniales et communales "... les enquêtes ont révélé que les préoccupations majeures paysannes en faveur de l'agroforesterie et les boisements individuels l'emportent sur les boisements à caractère collectif" (Ndimira, 1993). Or, actuellement, quelles que soient les régions naturelles, les proportions des demandes en eucalyptus sont de 85%, le reste étant occupé par le *grevillea* (10%) et les autres essences (5%).

### Méthodes de plantation et de conduite, diversification et productivité des espèces

#### Évolution des méthodes de plantation

Traditionnellement, l'eucalyptus est semé à la volée en même temps que les cultures d'ouverture comme l'eusine<sup>1</sup> après avoir effectué l'écobuage des graminées. Cette technique a l'avantage de ne pas faire subir aux jeunes plants le choc dû à la transplantation. Aussi faut-il souligner que les plants poussent bien dans la cendre et bénéficient, pendant et après les semis, des soins donnés à l'eusine. L'inconvénient de la méthode est surtout dû au fait qu'on ne peut pas faire beaucoup de plantations étant donné que ce sont des microboisements dont la dimension équivaut à celle des parcelles agricoles (2 à 10 ares).

Certains exploitants agricoles ont également eu recours au stumping<sup>2</sup> des plants issus des semis effectués dans les champs d'eusine. Par rapport à la première technique, cela présente l'avantage de permettre la diffusion des plants à partir des endroits de semis. Les champs d'eusine constituent en quelque sorte les pépinières. Le stumping permet d'étaler la plantation sur un ou deux ans en fonction du calendrier agricole des paysans et de la vitesse de croissance des plants.

Concernant la partie racinaire, le pivot est coupé à 10 à 15 cm et les autres racines sont éliminées pour ne laisser qu'un pieu (*stump*) à enfoncer dans le terrain de plantation. Le transport des *stumps* est beaucoup plus aisé et plus économique que le transport des plants pour peu que l'on évite le dessèchement de ces *stumps*.

Taillis d'*Eucalyptus maideni* à Gisozi.  
Photo : C. NDIKUMAGENGE.



La majorité des paysans continue à recourir aux sauvagions issus de la dissémination éolienne des graines d'eucalyptus. Dans ce cas, la plantation se fait à racine nue. L'inconvénient de cette méthode est surtout dû au faible taux de reprise après la plantation.

Avec l'expansion des projets forestiers, la production des plants se fait en pépinière. Dans les premières pépinières installées dans les années 1930, on utilisait les gaines de bananiers. Cela présente l'avantage que l'on pouvait planter directement le plant avec la gaine qui devenait en quelque sorte du fumier pour le plant. Comme la fabrication était manuelle, la production à grande échelle des gaines devenait problématique.

Avec l'expansion des projets, les plants sont repiqués dans les tubes en polyéthylène dont les dimensions dépendent de la durée des plants en pépinière<sup>3</sup>. La tendance générale est d'utiliser les tubes (ouverts des deux côtés) à la place des sachets perforés<sup>4</sup>. Le problème majeur est que d'une part ces tubes ne sont pas biodégradables et d'autre part ils coûtent de plus en plus cher<sup>5</sup>. Les insecticides et les fongicides sont appliqués en pépinière et dans les germoirs pour lutter contre les attaques des insectes, les fontes de semis et l'oïdium.

Les boulettes<sup>6</sup> ont été utilisées en pépinière à la place des tubes par certains projets forestiers comme l'ancien Projet Banque Mondiale-Fonds d'Aide et de Coopération. Néanmoins, l'utilisation de la boulette n'est pas encore généralisée. En effet, comme la croissance des eucalyptus est souvent très rapide, les racines ont tendance à percer les boulettes et à les éclater, ce qui rend le transport très délicat. Le bouturage des eucalyptus n'a pas encore été utilisé au Burundi.

### Conduite de l'eucalyptus

Dans les plantations domaniales, les forestiers privilégient la sylviculture classique orientée vers la production du bois d'œuvre de forte dimension. Or, on se rend de plus en plus compte que d'une part, cette sylviculture est de moins en moins adaptée aux besoins des populations locales et que d'autre part, l'outillage disponible pour le sciage n'est pas adapté. Cette sylviculture ne valorise pas suffisamment les rejets car la sélection des rejets se fait dès la deuxième année pour ne laisser que deux à trois rejets parmi lesquels on choisira les arbres de place. Or, dans le contexte du Burundi, le fait de rejeter constitue un atout important que les paysans exploitent à travers leurs pratiques.

En effet, dans les exploitations agricoles et dans les micro-boisements privés, les paysans adoptent une sylviculture privilégiant l'obtention des perches une fois tous les six ans et des tuteurs de haricot et du bois de feu chaque fois que le besoin se fait sentir. Ainsi, cette sylviculture permet une grande diversification

<sup>3</sup> Les dimensions des tubes en polyéthylène couramment utilisées sont de 9 x 15 cm ou de 11 x 20 cm

<sup>4</sup> Les sachets peuvent causer l'enroulement des racines en pépinière et freiner la croissance. 1FF = 90 F Bu (officiel) mais la réalité correspond au cours parallèle : 1 FF = 120 Fbu

de l'offre et une adaptation à la demande. Dans le cadre de la reconstruction des maisons détruites suite à la guerre que connaît le pays depuis 1993, les besoins en perches sont estimés à plus de cinq millions au total. Ce n'est qu'en adaptant la sylviculture aux besoins des populations qu'on pourra satisfaire de telles demandes.

### Diversification et productivité des espèces

Plus d'une quarantaine d'espèces d'eucalyptus ont été introduites au Burundi. Au fur et à mesure des années, les paysans ont pu apprécier les performances de chaque espèce en fonction des critères recherchés.

Ainsi, dans la région du Moso et de l'Imbo où il y a beaucoup de termites, c'est l'*E. camaldulensis* qui est planté.

Dans, les zones d'altitude (au-delà de 1 700 m), l'espèce la plus utilisée est l'*E. grandis* qui connaît une expansion remarquable due à sa croissance rapide et facilitée par la présence des semences de qualité issues des plantations installées à partir de l'année 1981 et dont les semences ont été directement importées d'Australie. Les autres espèces utilisées sont *E. saligna*, *E. maideni*, *E. robusta*, *E. microcorys*. Il existe aussi quelques plantations somme toute réduites d'*E. urophylla*.

En réalité, il y a eu tellement d'hybridations entre les espèces qu'il est actuellement difficile de trouver les espèces pures à part dans certaines plantations des projets ou dans les parcelles semencières où des parcelles d'eucalyptus provenant des souches pures ont été installées en plein milieu de parcelles de pin pour limiter les risques d'hybridation.

La productivité varie beaucoup en fonction de l'espèce, de la qualité des semences et de la conduite des peuplements. En fonction des espèces, la productivité la plus basse est celle de l'*E. camaldulensis* (les meilleurs font autour de 15 m<sup>3</sup>/ha/an) alors que la productivité la plus élevée a été de plus de 40 m<sup>3</sup>/ha/an). C'est dans les boisements communaux et domaniaux, dont la gestion laisse à désirer, qu'on enregistre les productivités les plus basses de moins de 10 m<sup>3</sup>/ha/an. Les productivités moyennes des eucalyptus au Burundi sont donc estimées à 20 m<sup>3</sup>/ha/an.

## L'eucalyptus dans l'économie du Burundi

### L'eucalyptus, principale source d'énergie

L'utilisation de l'eucalyptus comme bois de feu est généralisée dans la plupart des ménages ruraux. En effet, l'utilisation de la bouse de vache séchée comme combustible dans certaines

<sup>5</sup> En 1995, un tube coûtait 0,7 franc burundais alors qu'en 1998, un tube coûtait 3 francs burundais.

<sup>6</sup> Les boulettes sont constituées d'un mélange d'argile, de terre, de sable et d'eau. Le dosage et le malaxage doivent se faire de manière à ce que la boulette obtenue ne soit ni trop dure ni trop molle pour permettre la bonne pénétration de la racine.

régions, fréquente il y a une trentaine d'années, devient de plus en plus rare ; elle est remplacée par l'eucalyptus grâce à sa rapidité de régénération. L'utilisation des eucalyptus se fait sous forme de brindilles et de branches mortes ou sous forme de bois fendu séché au soleil et utilisé au niveau des foyers traditionnels à trois pierres. Les briqueteries et les tuileries consomment de grandes quantités d'eucalyptus. Cette forme d'utilisation se généralise de plus en plus au niveau de tout le pays à cause des programmes de reconstruction des maisons détruites pendant la guerre de 1993 qui privilégient l'utilisation des matériaux locaux de construction.

Le charbon de bois constitue le principal combustible utilisé dans les centres urbains. La capitale Bujumbura consomme plus de 90% de la production totale nationale (Besse et Guizol, 1991). La quasi-totalité du charbon de bois vendu dans les centres urbains provient des eucalyptus à l'exception de quelques cas de carbonisation (de plus en plus rares) dans les reliques de forêts naturelles et dans les plantations de black wattle (*Acacia decurrens*).

### **L'eucalyptus utilisé sous forme de bois d'œuvre : une innovation relativement récente**

Les scieurs de long sont habitués à scier certaines essences des forêts naturelles comme *Chlorophora excelsa*, *Entandrophragma...* *Cupressus lusitanica* a été longtemps l'essence de plantation la plus appréciée des scieurs. Néanmoins, la disparition de la quasi-totalité des plantations de *Cupressus lusitanica* à partir de 1989, suite aux attaques du puceron *Cinara cupressi*, les a poussés à se tourner vers le sciage des eucalyptus. Les *Eucalyptus grandis* installés à Gakara<sup>7</sup>, le plus grand chantier de reboisement d'eucalyptus, ont déjà fait l'objet des sciages depuis 1990. Les produits de sciage, constitués de madriers et de planches, sont utilisés comme charpentes des maisons, comme platelage des ponts ou dans les menuiseries. La principale contrainte rencontrée par les scieurs est la maîtrise du séchage étant donné que les produits sciés non séchés changent de forme et de dimension en fonction de l'humidité atmosphérique, ce qui occasionne des déformations sur les maisons ou sur les ouvrages en eucalyptus. L'autre contrainte reste l'inadaptation de l'outillage utilisé pour la première et la deuxième transformation. En effet, les scies de long et les machines utilisées pour la deuxième transformation occasionnent beaucoup de pertes et la qualité de la valorisation laisse à désirer.

### **L'eucalyptus utilisé comme poteau électrique**

L'eucalyptus est la seule essence utilisée au Burundi comme poteau électrique. Depuis une quinzaine d'années, la préservation des poteaux s'est toujours faite par le procédé Boucherie qui consiste à injecter dans les arbres fraîchement abattus et revêtus de leur écorce la solution d'un produit de préservation hydrosoluble, de manière à chasser la sève et à la remplacer par cette solution. À la fin de l'opération, les tissus précédemment gorgés de sève sont imbibés par ce produit.

Depuis 1992, la société Feral qui s'occupe de la deuxième transformation a importé une autoclave permettant de traiter des poteaux électriques en eucalyptus par imprégnation en injectant profondément le produit (sous l'action du vide et de la pression). Actuellement, certains poteaux électriques en bois destinés au transport du bois en basse et moyenne tension sont en eucalyptus.

La contrainte majeure dans ce domaine reste la disponibilité des matières premières car les arbres susceptibles de fournir des poteaux électriques se trouvent dans des zones peu ou pas accessibles soit à cause du mauvais état des pistes soit à cause de l'insécurité. Ainsi, le chantier de Gakara qui compte 2 400 hectares d'eucalyptus n'est pas accessible à cause de l'insécurité.

### **Les autres usages de l'eucalyptus**

Le haricot est la culture de base dans tout le pays et les variétés volubiles sont souvent les plus productives. Les branches des eucalyptus sont utilisées dans certaines régions comme tuteur du haricot volubile.

Les jeunes feuilles d'*Eucalyptus maideni* sont utilisées comme médicament contre la toux et la grippe.

Dans certaines provinces du pays les groupements d'apiculteurs placent leurs ruches dans les boisements d'eucalyptus.

## **Conclusions**

L'extension considérable de l'eucalyptus au Burundi s'explique par plusieurs raisons notamment :

- sa conduite de manière traditionnelle demande peu de travail au paysan (semis à la volée) ;
- le fait que ce soit une essence qui rejette est un atout certain pour un pays dont la population dépend du bois pour son énergie domestique ;
- sa croissance rapide permet aux paysans d'utiliser rapidement la ressource ;
- sa maîtrise par les projets de développement qui vulgarisent de plus en plus les essences performantes, les exigences éducatives étant pour le moment reconnues ;
- le fait qu'il peut être utilisé à plusieurs usages est également un atout certain pour que les paysans l'adoptent facilement.

Cependant, il serait exagéré d'affirmer que l'eucalyptus peut être considéré au Burundi comme "l'arbre miracle", mais il ne serait pas totalement faux de confirmer que son caractère multiusage en pleine expansion et son utilité grandissante lui confèrent une importance indéniable dans l'économie du pays. Des progrès remarquables ont été déjà atteints en matière de connaissance sur l'adaptation de certaines espèces d'eucalyptus aux conditions édapho-climatiques et à leurs utilisations potentielles mais beaucoup de connaissances méritent d'être approfondies. En effet, les connaissances sur la valorisation du matériau-bois en général et de l'eucalyptus en particulier, sur le traitement et sur la préservation des produits sciés laissent à désirer. La gamme des usages et des utilisations de l'eucalyptus continuera peut-être à s'allonger au Burundi.

**Cléto NDIKUMAGENGE**

UICN

BP 5506 Yaoundé

CAMEROUN

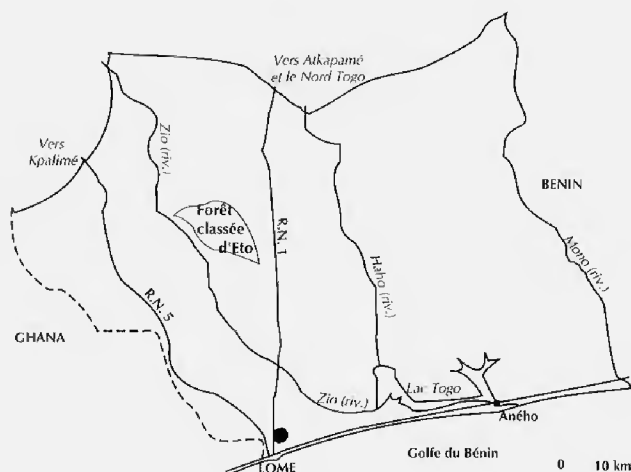
cleto.cefdhac-iucn@camnet.cm

<sup>7</sup> La plantation de Gakara a été installée en 1980 par l'ancien Projet Forestier financé par la Banque Mondiale et le Fonds d'Aide et de Coopération. Elle est située à 40 km au sud de la capitale Bujumbura.

# LES EUCALYPTUS DE LA FORÊT D'ETO

## Pour sauvegarder les forêts naturelles ?

52



Afin de réduire la pression de la demande en produits ligneux sur les formations de savanes forestières naturelles, l'Office de développement et d'exploitation des forêts (ODEF) a créé une unité technique, le projet AFRI, dont l'objectif est de substituer le bois d'eucalyptus au bois de brousse dans l'approvisionnement en bois (bois-énergie et bois de service) de la capitale togolaise.

### Des plantations hautement productives ...

La rapidité de sa croissance explique le choix de l'eucalyptus comme bois de substitution. En effet, de 1982 à 1988, le projet AFRI a installé 3 534 hectares d'eucalyptus dans la forêt classée d'Eto, à une cinquantaine de kilomètres au nord de Lomé. Et dès 1988, l'exploitation à but commercial commençait, puisque les eucalyptus étaient exploités à l'âge de quatre ans.

Une sylviculture appropriée a permis d'obtenir très rapidement une production spectaculaire en bois (bois de feu, perches et charbon de bois). Mais les coûts de production, ne permettant pas aux produits du projet AFRI d'être compétitifs sur le marché loméen, et la crise socio-politique des années 1990 ont conduit à la réduction de la production de bois issu des plantations du projet AFRI dès les années 1991.

### ... ne protégeant que partiellement l'environnement...

Cependant en 1998, le projet fournit près de 50% du bois de feu consommé annuellement à Lomé. Aussi, on peut affirmer que les plantations d'eucalyptus du projet AFRI ont permis de substituer en partie le bois d'eucalyptus au bois de brousse.

De plus les plantations du projet AFRI ont complètement modifié le paysage qui est passé d'une formation de savane à une formation forestière.

Toutefois, la recrudescence des feux de brousse depuis plusieurs années dans les plantations d'eucalyptus et l'exploitation sauvage et croissante des formations naturelles alentours limitent fortement l'impact positif du projet AFRI sur la protection de l'environnement dans le sud-Togo.

### ... Car on avait oublié les populations

Les raisons de ces résultats peu satisfaisants sur le plan environnemental sont liées entre autres au manque d'implication des populations dans le projet AFRI. En effet, ce sont les populations qui détruisent les plantations d'eucalyptus qui fournissaient pourtant du bois dont elles ont besoin : les feux de brousse sont allumés volontairement ; les revendications foncières sont permanentes...

Par ailleurs, la sensibilisation des populations et des consommateurs a été négligée ; de même que le projet n'a pas développé d'étude de marché relative aux exigences des consommateurs.

Parallèlement, aucune politique nationale n'a accompagné cette initiative.

En conclusion, le projet AFRI, malgré des résultats techniques performants et des impacts annexes intéressants, est perçu comme un semi-échec pour la substitution du bois d'eucalyptus au bois de brousse dans l'approvisionnement de Lomé. Les formations naturelles sont surexploitées, les forêts de plantations sont détruites, le projet est très mal accepté par les populations.

L'eucalyptus aurait pu contribuer à sauvegarder les formations naturelles si le projet AFRI avait été appréhendé dans une approche de développement rural intégré. Aujourd'hui diverses stratégies sont proposées pour limiter la disparition des formations forestières tout en satisfaisant les besoins en bois des populations. Un article plus complet dans le prochain numéro du Flamboyant développera ces aspects.

Edjidomélé GBADOE  
Projet AFRI/ODEF  
BP 12408 Lomé  
TOGO

Kouami KOKOU  
Faculté des Sciences, UNB  
BP 1515 Lomé  
TOGO  
kkokou@syfed.tg.refer.org

# L'ACIER VERT DU BRÉSIL

## Des eucalyptus pour produire de l'acier, économiser des devises et réduire les émissions de gaz à effet de serre

### L'environnement au secours d'un grand "handicapé"

#### **Pas d'énergies fossiles...**

Pour des raisons économiques, le Brésil a été amené à développer des technologies permettant de produire de l'énergie à moindre coût à partir de produits agricoles. En effet, malgré l'étendue de son territoire, ce pays n'a pratiquement pas de gisements d'énergies fossiles.

#### **Pas assez de devises...**

Il a donc été conduit à exporter des produits agricoles pour importer l'énergie nécessaire à son développement. Après le second choc pétrolier de 1979, le Brésil devait consacrer la moitié du revenu de ses exportations pour couvrir les dépenses occasionnées par les importations de produits pétroliers.

#### **Mais une technologie énergétique ingénieuse !**

Dans ce contexte, le Brésil a développé un programme ambitieux de substitution de carburants fossiles par de l'éthanol-carburant obtenu à partir du sucre de canne ; dans ce pays, de nombreuses voitures ont ainsi roulé pendant des années, dans les années 1980, avec du biocarburant ; ce programme est assez connu. On sait en revanche beaucoup moins que pour des raisons en grande partie similaires, le Brésil fabrique toujours du fer et de l'acier avec du charbon de bois.

#### **L'eucalyptus pour la sidérurgie au Brésil ...**

L'eucalyptus est ainsi utilisé au Brésil pour produire le charbon de bois nécessaire à cette fabrication industrielle.

#### **... et pour la réduction de l'effet de serre sur la planète !**

Cet article présente l'expérience de la société Mannesmann, l'une des entreprises brésiliennes utilisant le charbon de bois pour la production de fer et d'acier, qui compte développer davantage cette production sans accroître les émissions de gaz à effet de serre.

#### **FER ET ACIER**

Le fer, métal tenace et maléable, fondant à 1 535 °C, est largement utilisé dans la technologie et l'industrie sous forme d'alliages, d'aciers et de fontes. Dans ce texte, on nommera "fer" l'alliage composé en majeure partie de fer.

L'acier est un alliage de fer et de carbone (<1,8%) susceptible d'acquiescer par traitement mécanique et thermique des propriétés très variées.

*D'après Le Petit Larousse 1993.*

#### **POURQUOI DU CHARBON DE BOIS POUR L'ACIER ?**

**Des raisons historiques, technologico-économiques et environnementales...**

Durant l'Antiquité, le fer était produit dans les bas fourneaux (four à cuve de faible hauteur pour l'élaboration de la fonte et des ferro-alliages). Au Moyen Âge, cette production s'est effectuée dans les hauts fourneaux (appareil à cuve, chauffé au coke, où s'effectuent la réduction puis la fusion réductrice des minerais de fer et l'élaboration de la fonte, du ferromanganèse et d'autres ferroalliances) dans lesquels le minerai de fer était mélangé avec du charbon de bois. Ce dernier servait à la fois à chauffer le minerai et à le réduire. Mais avec la révolution industrielle et le développement de l'extraction du charbon minéral, moins cher à produire que le charbon de bois, le charbon de terre a peu à peu remplacé le charbon de bois dans presque tous les pays. Sauf au Brésil où l'on continue de produire du fer et de l'acier de qualité en utilisant du charbon de bois. Le charbon de bois présente en effet toujours quelques avantages par rapport au charbon minéral : il contient moins de soufre et permet donc d'obtenir du fer d'assez bonne qualité à des coûts assez bas. De plus, l'absence de soufre dans le charbon de bois fait que l'acier ainsi obtenu n'engendre pas d'émission de polluants comme le dioxyde de soufre. Mais cela n'est pas le seul avantage environnemental. L'utilisation du charbon de bois à la place de charbon minéral peut en effet, à production constante de fer ou d'acier, également limiter les émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. L'accroissement de ces émissions pourrait augmenter leur concentration dans l'atmosphère et accélérer le réchauffement climatique. Mais depuis la ratification de la Convention sur le Climat signée en 1992, et plus encore depuis la signature du protocole de Kyoto rédigé en décembre 1997, la communauté internationale cherche à réduire les émissions de ces gaz à effet de serre par divers moyens. Et l'on envisage, entre autre, de rémunérer les efforts qui auront pu être faits pour réduire ces émissions, notamment dans les pays en développement, qui à ce stade, compte tenu de leurs faibles émissions par habitant n'ont pas encore d'obligation pour réduire leurs émissions. Or, l'utilisation de charbon de bois obtenu à partir de peuplements forestiers gérés de façon renouvelable n'augmente pas les émissions nettes de gaz carbonique, contrairement à l'utilisation de produits fossiles comme le charbon de terre<sup>1</sup>. Les émissions de ce dernier ne sont en effet pas réabsorbées par le sous-sol, alors que celles provenant de la production et de l'utilisation du charbon de bois sont, pour l'essentiel, reprises par la photosynthèse des arbres des peuplements en croissance exploités de manière durable. Dans ces cycles, les forêts vierges en équilibre n'interviennent pas, puisqu'elles émettent autant de gaz carbonique qu'elles en absorbent.

## L'approche de Mannesmann

### Des eucalyptus sur des sols incultes ... protégeant l'environnement

La société Mannesmann produit en moyenne 610 000 tonnes d'acier par an en utilisant le charbon de bois produit sur 128 000 hectares de plantations d'eucalyptus répartis dans 25 fermes disséminées dans l'État de Minas Gerais, à 500 km de Belo Horizonte (au sud-est de Brasilia) où se trouve le siège de la société.

54

Les températures moyennes se situent entre 19°C et 24°C. Les précipitations annuelles varient entre 750 et 2 000 mm ; la saison humide se situe entre novembre et février et la saison sèche de mars à octobre. Les sols sont acides, sableux à sableux-argileux et pauvres en phosphore. La société a été amenée à développer son programme de plantations sur des sols ne convenant pas pour l'agriculture avec principalement quatre variétés d'eucalyptus : *E. camaldulensis*, *E. cloesiana*, *E. urophylla* et *E. pellita*. La protection des sols, la fertilisation, la protection phytosanitaire, la protection contre le feu et la préservation de la biodiversité figurent parmi les pratiques adoptées ici : on a conservé des bandes de végétation naturelle de 25 m de large, espacées de 500 m, soit en tout 1 500 km de corridors reliés les uns aux autres. Ceci permet de maintenir la circulation du gibier et des habitats pour les oiseaux et les insectes. 9 500 hectares de forêts naturelles sont ainsi maintenus en l'état et protégés dans ces plantations. Pour réduire les risques phytosanitaires, on a fait varier les diverses essences d'eucalyptus d'un bloc à l'autre.

Les peuplements d'eucalyptus sont exploités tous les sept ans et les ensouchements remplacés après trois rotations.

### Des plantations plus écologiques que la forêt naturelle ?

La combustion ou la décomposition du bois se traduit par des émissions de gaz carbonique (CO<sub>2</sub>). Inversement, l'accroissement de la biomasse et de la matière organique du sol se traduit par une fixation de gaz carbonique. Pour savoir si le remplacement d'une forêt naturelle par des plantations d'eucalyptus conduit à une augmentation ou à une diminution du stockage de gaz carbonique il faut faire un bilan. En premier lieu, il faut mesurer la teneur en carbone des différents types de biomasse et dans les sols. Pour les peuplements d'eucalyptus et la végétation naturelle, les pourcentages moyens de carbone de la matière sèche dans les différents compartiments sont présentés dans le tableau 1 ci-dessous.

	Tiges	Feuilles	Branches	Racines	Litière	Sol en surface 0-40 cm	Sol en prof. 41-200 cm
Plantations d'eucalyptus	47,1	50,8	47,1	46,8	47,9	0,58	0,25
Végétation naturelle	46,9	50,2	48,2	46,0	47,6	0,47	0,22

D'après ce tableau, une tonne de tige totalement sèche stocke 0,47 tonnes de carbone (en abrégé tC). Si cette quantité de bois était brûlée ou décomposée, cela entraînerait une émission de 1,7 tonne de gaz carbonique [1 tCO<sub>2</sub> contient 0,27 tC].

Pour déterminer la quantité de gaz carbonique ainsi séquestrée dans la végétation, il faut également connaître le poids des différents composants, notamment des différentes biomasses. Le tableau 2 ci-dessous (obtenu d'après des mesures de la société en 1998) montre que les peuplements d'eucalyptus âgés de seulement cinq ans stockent davantage de carbone - donc de gaz carbonique - par hectare que la végétation naturelle à dix-sept ans (128,5 tonnes de carbone par hectare contre 108,3 tC/ha). De plus, on peut y récolter davantage de biomasse pour la fabrication de charbon de bois (32,6 tC/ha contre seulement 13,7 tC/ha pour le peuplement naturel).

Tableau 2 : Stockage de carbone dans la biomasse<sup>2</sup> et dans le sol, des peuplements d'eucalyptus à 5 ans et de la végétation naturelle à 17 ans (en tC/ha et en %).

	Peuplements d'eucalyptus		Végétation naturelle	
	tC/ha	%	tC/ha	%
Biomasse aérienne	32,6	67,3	13,7	34,3
Biomasse souterraine (racines)	15,8	32,7	26,2	65,7
<b>Carbone dans la biomasse</b>	<b>48,4</b>		<b>39,9</b>	
Litière	10,5		10,6	
<b>Carbone du sol</b>	<b>80,1</b>		<b>68,4</b>	
<b>Total tC/ha</b>	<b>128,5</b>		<b>108,3</b>	

Pour une tige récoltée, il reste dans les autres parties du peuplement et dans la partie venant d'être exploitée 6,7 tonnes de matière sèche qui séquestre 3,27 tonnes de carbone (ou l'équivalent de 11,6 tonnes de gaz carbonique).

### Une carbonisation peu polluante

La carbonisation du bois sec se fait dans les fours maçonnés. Les transports de bois jusqu'à l'unité de carbonisation peuvent ainsi ne pas dépasser 20 km. Dans chaque ferme on produit annuellement 1 200 tonnes de charbon de bois. Lors de la carbonisation du bois on peut également émettre des gaz à effet de serre autres que la gaz carbonique (méthane ou monoxyde de carbone) dont les pouvoirs de réchauffement de l'atmosphère, sont, à poids égal, plus importants que celui du gaz carbonique. Mais avec des technologies appropriées on peut fortement réduire ces émissions

qui pourraient, sinon, annuler les effets bénéfiques obtenus par ailleurs. En brûlant le jus pyroligneux issu de la carbonisation, la société Mannesmann espère aussi pouvoir sécher le bois artificiellement et de la sorte tout à la fois augmenter le rendement de la carbonisation (plus un bois est sec au moment de la carbonisation, meilleur est son rendement de carbonisation) et abaisser le temps de séchage nécessaire à l'air libre de 90 à 30 jours.

Selon le procédé de carbonisation utilisé, la quantité de gaz à effet de serre autre que le gaz carbonique pourra être plus ou moins forte. Actuellement, les informations concernant ce poste ne sont pas encore disponibles.

### Une production d'acier performante

L'acier est ensuite produit dans des mini-haut-fourneaux utilisant 430 kg de carbone/tonne de métal.

Une tonne de bois sec permet de produire 0,65 tonnes de métal liquide. Pour produire annuellement une tonne de métal liquide il faut 1,54 tonnes de bois sec ou encore une superficie de 0,17 hectares si le peuplement d'eucalyptus produit annuellement neuf tonnes de matière sèche par hectare. Si par un meilleur choix des eucalyptus, des sélections génétiques et l'apport de phosphate, la productivité de ces peuplements peut être portée à douze tonnes de matière sèche par hectare et par an, la production d'acier pourrait augmenter de 30% sans qu'il soit nécessaire d'augmenter les superficies consacrées à cette production<sup>2</sup>.

## Kyoto peut remettre à l'honneur les arbres...

Un premier calcul montre que l'utilisation, à la place du charbon minéral, du bois transformé en charbon de bois dans la production de métal permet d'éviter l'émission de 2 tonnes de gaz carbonique d'origine fossile par tonne de métal. Dans le cas de la production de la société Mannesman qui s'élève à plus de 600 000 t d'acier par an, on éviterait ainsi d'émettre annuellement 1,2 million de tonnes de gaz carbonique. En d'autres termes, si la subvention à la tonne de gaz carbonique non émise s'élevait à \$10<sup>3</sup>, ce qui ne semble pas irréaliste dans un proche avenir, l'acier ainsi produit bénéficierait d'une subvention de \$20 par tonne. En augmentant la productivité du peuplement d'eucalyptus de 30%, cette société pourrait accroître sa production de 180 000t/an sans recourir à du charbon minéral. Lorsque les mécanismes que l'on a décidé d'instaurer à Kyoto seront opérationnels elle pourrait bénéficier d'une rémunération annuelle de 3,6 millions de dollars pour avoir évité d'émettre des quantités supplémentaires de gaz carbonique dans l'atmosphère en augmentant sa production. On s'aperçoit donc que dans ces conditions, il pourrait redevenir intéressant de produire de l'acier à partir du charbon de bois comme avant la révolution industrielle. Ces premières estimations de réduction des émissions de gaz carbonique grâce à l'utilisation d'une matière première renouvelable comme le bois sont encore très grossières. Elles méritent donc d'être précisées.

Pour le moment dans le monde, seuls les Brésiliens fabriquent encore de l'acier avec du charbon de bois. Mais il y a beaucoup d'autres projets de valorisation de la biomasse à des fins de production d'énergie et de substitution de combustibles fossiles. Le GEF (Fonds pour l'Environnement Mondial) aide à l'expérimentation de nouvelles centrales électriques à biomasse : là encore les eucalyptus mais aussi d'autres espèces ligneuses peuvent être de bons candidats. D'ici quelques décennies on

verra sans doute aussi émerger des filières performantes de production de biocarburants liquides à partir l'hydrolyse ou de la gazéification de bois.

Étant donné que les eucalyptus ont souvent d'excellentes productivités et sont peu exigeants en engrais azotés, ce sont de bons candidats pour les filières du XXI<sup>ème</sup> siècle.

Arthur RIEDACKER  
SILVA

1 Voir les dossiers sur l'effet de serre du «Bulletin africain» n° 1 et 2 (1990) et n° 10 (1998), édition pour le RABEDE/ENDA Énergie, Dakar.

2 Ces calculs pourraient aussi être effectués en utilisant des mètres cubes de bois comme le font habituellement les forestiers. Mais comme la densité du bois sec peut varier avec les espèces, il est préférable d'exprimer les valeurs en poids sec.

3.1\$ ≈ 1 Euro = 647 FCFA

55

## Le protocole de Kyoto et les pays en développement

En décembre 1997 les pays industrialisés se sont engagés à réduire en 2010 leurs émissions de gaz à effet de serre à un niveau moyen 5,3% inférieur à celui de 1990. Pour atteindre cet objectif, ils devront agir chez eux. Mais une partie des efforts de réduction pourra aussi se faire, d'après l'article 12 du protocole de Kyoto, conjointement avec des pays en développement, à travers le «Mécanisme de développement propre». Pour les pays en développement, ces projets doivent servir au développement. Pour les pays industrialisés, cela doit permettre de réduire les émissions à un coût plus faible. Ainsi les deux partenaires y trouvent leur intérêt. Mais il s'agit d'obtenir des réductions d'émissions qui n'auraient pas eu lieu sans ces projets.

Chaque fois qu'on remplace l'utilisation de charbon, de pétrole ou de gaz fossile, par de la biomasse, de l'énergie solaire directe, de l'énergie éolienne ou encore de l'énergie hydraulique, on évite de déstocker une certaine quantité de gaz carbonique sequestrée dans l'écorce terrestre ; on limite donc les émissions de gaz à effet de serre. Ces actions sont prises en compte par le protocole de Kyoto.

La séquestration supplémentaire de carbone, grâce à des boisements sur des terres agricoles ou par des pratiques agricoles qui augmentent la teneur en matières organiques du sol, permet également de réduire les émissions nettes de gaz carbonique dans l'atmosphère. D'après l'esprit de la convention climat, la contribution de l'agroforesterie, de l'accroissement du carbone dans le sol et les biomasses devrait également être prise en compte. Mais il reste à décider si ces actions pourront bien être prises en compte dans le cadre du protocole de Kyoto. Tout dépendra de la mobilisation des forestiers, qui jusqu'ici ont bien souvent été absents des discussions internationales qui pourtant les concernent au premier chef.

