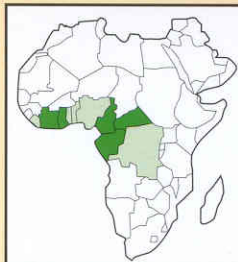


Estimation de la qualité des arbres sur pied



Série
FORAFRI
1998
Document
9



Estimation de la qualité des arbres sur pied

1998

Meriem Fournier-Djimbi et Daniel Fouquet

CIRAD-Forêt
Campus International de Baillarguet
BP 5035
34032 Montpellier cedex 1
France

PREFACE

L'accès aux connaissances liées au patrimoine national comme international peut accélérer le processus de développement. De même, l'échange des savoirs rassemble ses acteurs et renforce l'organisation des travaux. Pour toutes ces raisons, synthétiser et diffuser l'information relève du mandat des actions de coopération.

Depuis près de trente ans, le département forestier du Cirad (Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement) a réalisé de nombreuses recherches sur les écosystèmes forestiers humides de l'Afrique centrale et occidentale. Le projet Forafri, financé par le Fonds d'aide et de coopération (France), a été lancé en 1996 pour capitaliser ces acquis et les valoriser en les transmettant aux acteurs de la filière dans cette zone. Le Cifor (Center for international forestry research), responsable d'une action identique dans les pays anglophones, est associé à Forafri.

La phase de capitalisation et de synthèse s'est concrétisée notamment par la rédaction de différents ouvrages, synthèses et publications. Un comité scientifique et technique, qui réunit des représentants du Cirad, du Cifor, de la Fao (Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture), de l'Uicn (Union internationale pour la conservation de la nature et de ses ressources), de l'Atibt (Association tropicale internationale des bois tropicaux) et des systèmes nationaux de recherche africains (Cameroun, Congo, Côte d'Ivoire et Gabon), a assuré la validation des documents.

Les auteurs se sont attachés à rassembler les divers éléments épars des connaissances scientifiques, techniques et bibliographiques, ceci dans le but de les mettre à la disposition des utilisateurs, qu'ils soient enseignants, développeurs, chercheurs, industriels ou gestionnaires. Ce travail de synthèse a abouti à la réalisation d'une série d'ouvrages, traités par pays ou par thème.

Le bilan général des dispositifs expérimentaux concerne notamment la dynamique de croissance des peuplements arborés en Centrafrique, en Côte-d'Ivoire et au Gabon. Plusieurs thèmes sont aussi approfondis, tels que l'évaluation de la ressource, la sylviculture, l'aménagement, les méthodes statistiques d'analyse et d'interprétation de données et les caractéristiques technologiques des bois commerciaux africains.

La transmission des connaissances et des savoir-faire passe aussi par la formation dont tous ces documents pourront être des supports. C'est avec cette volonté de capitaliser, synthétiser et diffuser que ces publications sont réalisées. Nous espérons qu'elles profiteront aux recherches et actions de développement futures concourant ainsi à la gestion durable des forêts tropicales africaines.

Jacques Valeix
Directeur du Cirad Forêt

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION	1
1.1. « QUALITE » DES ARBRES, DES GRUMES, DES SCIAGES	1
1.2. « QUALITE », ADEQUATION AVEC DES USAGES ET DES REGLES COMMERCIALES OU ENSEMBLE DE CARACTERISTIQUES ABSOLUES ?	2
1.3. QUAND ET POURQUOI ESTIMER LA QUALITE DES ARBRES SUR PIED ?	2
2. RESULTATS ACQUIS CONCERNANT L'EVALUATION QUALITATIVE DES PEUPLEMENTS FORESTIERS	4
2.1. PRINCIPE DE LA COTATION EN CHOIX INVENTAIRE : CRITERES UNITAIRES ET REGLES DE CLASSEMENT	4
2.2. EXEMPLES DE RESULTATS CONCERNANT LA REPARTITION DES VOLUMES BRUTS EN CHOIX INVENTAIRE.	7
2.3. PRINCIPES DES ETUDES DE RECOLEMENT	8
2.3.1. OBJECTIFS ET METHODES D'ETUDE	8
2.3.2. CALCULS ET REPRESENTATION DES RESULTATS	9
2.4. QUELQUES RESULTATS CONCERNANT DES ETUDES DE RECOLEMENT	12
2.4.1. COEFFICIENTS DE COMMERCIALISATION DE DIFFERENTES ESSENCES DANS UNE MEME ZONE	12
2.4.2. COMPARAISON DES COEFFICIENTS DE COMMERCIALISATION POUR DIFFERENTES CLASSES DE DIAMETRE	13
2.4.3. COMPARAISON DE CONTEXTES D'EXPLOITATION DIFFERENTS	14
3. DISCUSSION ET PERSPECTIVES	15
3.1. LE SYSTEME DE COTATION DES ARBRES SUR PIED	15
3.2. LES ETUDES DE RECOLEMENT	16
3.3. LES OBJECTIFS DE L'ESTIMATION DE LA QUALITE DES ARBRES SUR PIED ONT-ILS CHANGE DEPUIS TRENTE ANS ?	17
3.4. NOUVEAUX OUTILS ET NOUVELLES METHODES POUR MESURER LA QUALITE DE L'ARBRE EN FORET.	18
3.5. QUALITE DES ARBRES ET DES BOIS ET ECOLOGIE FORESTIERE, ECOPHYSIOLOGIE DES ARBRES ET DES PEUPLEMENTS, GENETIQUE DES POPULATIONS ... ?	20
3.6. LE CAS PARTICULIER DES PLANTATIONS	20
CONCLUSIONS	21
BIBLIOGRAPHIE	22

1. Introduction

Le sujet traité est d'actualité, l'estimation de la qualité des bois est inséparable de l'optimisation de leur valorisation. C'est aussi un des nombreux aspects de la gestion durable des forêts tropicales.

1.1. « *Qualité* » des arbres, des grumes, des sciages

Dans l'ensemble des propriétés possibles pour caractériser les bois, on peut distinguer :

a - ce qui relève de la qualité des « arbres », visible ou mesurable extérieurement sur pied :

- forme : diamètre et hauteur sous le premier défaut, cylindricité, courbure, forme de la section (ovales et méplats), coudes et baïonnettes,
- état sanitaire et stade de développement de l'arbre : gourmands, noeuds couverts ou pourris, trous de pic, tronc sonnante creux ...,
- aspect du bois visible sur écorce : rectitude du fil, bosses, blessures et soulèvements d'écorce...,
- éventuellement, propriétés non visuelles : mesures par ultrasons, perforations ... (cf paragraphe 3.4).

b - ce qui relève de la qualité des grumes (ATIBT, 1966),

- critères précédents visibles sur le roulant, critères visibles sur la tranche : diamètre sous écorce ou sous aubier, fentes à coeur et en éclats, roulures, coeur double ou excentré, piqûres et trous, pourriture à coeur, échauffements et bleuissement ...

c - ce qui relève de la qualité des sciages (CTFT, 1979) ou des placages,

- flaches, présence d'aubier, noeuds, attaques d'insectes, bleuissements, déformations (courbures, voilement, tuilage), coups de vent, figuré (bois pommelés, rubanés ...) et couleur ...,
- éventuellement propriétés autres que visuelles : densité et humidité du bois, classes de résistance mécanique ...

1.2. « Qualité », adéquation avec des usages et des règles commerciales ou ensemble de caractéristiques absolues ?

Si on fait référence aux définitions normalisées de la « qualité » dans le cadre de la fabrication, de la transformation et du contrôle des produits industriels, la qualité des bois n'est pas un ensemble de propriétés absolues du matériau bois mais est intimement liée à ses utilisations. La qualité des arbres sur pied se définirait plutôt comme leur capacité à être exploités avec un bon rendement matière mesurable par un coefficient de commercialisation (défini par exemple comme le rapport du volume grumes commercialisé sur le volume brut inventorié), et une « bonne qualité » de grumes. Cette qualité de grumes pourrait elle-même être mesurable par le prix de vente au m³ (en admettant que la qualité se paie et que ces données peuvent être obtenues) ou par la capacité de ces grumes à être transformées en produits de qualité (rendement matière de la première transformation, qualité des sciages, des placages ...).

Une telle notion de qualité est donc liée au contexte technico-économique et culturel de la valorisation, avec des évolutions rapides dans le temps possibles. Mieux vaudrait alors parler d'« aptitude à l'emploi » ou d'« adéquation production/emploi » que de « qualité ».

Il reste que pour chaque essence et chaque grume, on peut définir des propriétés objectivement mesurables. Ultérieurement, selon le contexte technologique et commercial, ces critères deviennent des défauts plus ou moins graves, des qualités plus ou moins recherchées ou des caractères neutres sans influence. Certaines propriétés sont plus importantes que d'autres dans la mesure où elles représentent un défaut ou une qualité importante dans la plupart des contextes.

Ainsi, par exemple, une grume de très gros diamètre représente un produit de qualité pour le sciage ou le déroulage dans un contexte industriel qui traite couramment ce type de produit, elle sera inutilisable dans de nombreux cas où les outils de transport et de transformation sont inadaptés. Un méplat est un défaut grave pour le déroulage, à beaucoup plus faible impact sur le sciage. Une grume mal conformée sera laissée sur pied lorsque l'essence est abondante ou peu recherchée, elle devient un produit apprécié si la demande s'intensifie et si la ressource devient rare. Un veinage particulier, une ondulation du fil ... pourra être considéré selon les usages et les modes comme un défaut rédhibitoire ou au contraire comme une qualité recherchée...

Les pourritures à coeur sont pour l'instant toujours considérées comme un défaut grave mais elles deviendraient un critère de bonne qualité si on montrait que le creux s'accompagne d'une diminution sensible de la nervosité au sciage ou au séchage, d'une augmentation de la durabilité naturelle ... dans le bois récupérable ...

1.3. Quand et pourquoi estimer la qualité des arbres sur pied ?

L'estimation de la qualité des arbres sur pied est liée aux opérations d'inventaire et vise à connaître :

- essentiellement, les coefficients de passage entre volumes bruts et volumes commercialisés ;
- éventuellement, les proportions des différentes qualités de grumes commercialisées.

En inventaire, les opérations de comptage permettent de connaître les effectifs par essence et par classe de diamètre. Les tarifs de cubage permettent alors de passer aux volumes bruts c'est à dire aux volumes des fûts, de la base de l'arbre à une certaine découpe ou au premier gros défaut. Ces volumes bruts sont bien entendus supérieurs à ceux qui seront commercialisés, du fait de pertes au moment de l'exploitation (arbres laissés sur pied, éclatement à l'abattage...), du débardage et du tronçonnage sur parc (purges ...).

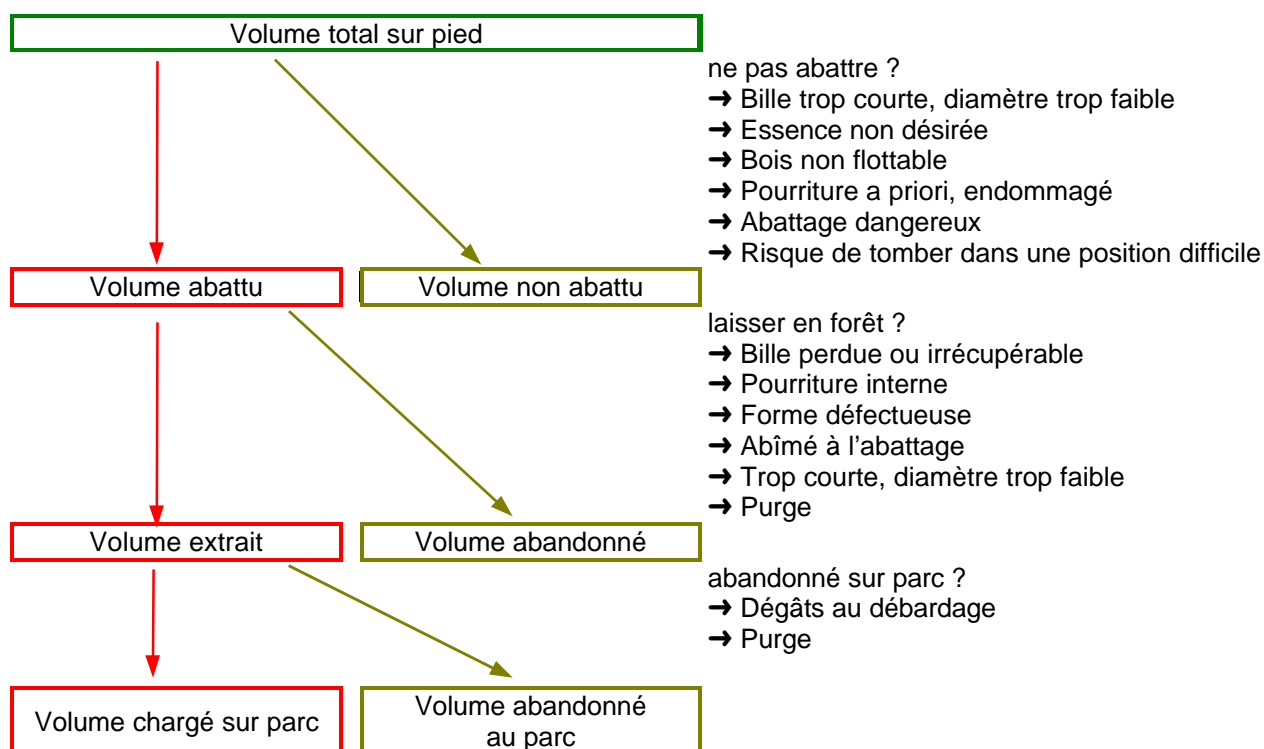
Le Tableau 1 montre les différents volumes à soustraire pour passer du volume brut au volume commercialisable. Par ailleurs, les volumes commercialisés vont se répartir en grumes de qualité différentes, qui elles-mêmes vont donner avec des rendements variables, des produits (placages, sciages, plaquettes ...) de qualités variables.

L'estimation de la qualité des arbres sur pied concerne aussi bien les inventaires d'exploitation que les inventaires d'aménagement dans l'objectif d'une exploitation avec un rendement soutenu en bois ou l'objectif du développement durable d'une filière bois.

Le problème ne se pose cependant pas de la même façon selon les échelles spatiales de l'inventaire. L'objectif de bon nombre d'études passées (Lanly et Lepitre 1970, Bertault, 1989) concernait l'obtention de résultats statistiques, valides en moyenne sur des surfaces de plusieurs centaines de milliers d'hectares voire plusieurs millions d'hectares.

L'estimation de la qualité des arbres sur pied permet alors d'améliorer le caractère opérationnel de l'inventaire pour les différents acteurs de la filière bois. Elle fournit des données utiles pour la négociation commerciale entre le propriétaire forestier et l'exploitant, pour l'élaboration de politiques forestières notamment en vue de l'industrialisation. Elle peut également permettre aux services forestiers de comparer les qualités de différents peuplements, ou de peuplements à des temps différents (FAO, 1981).

Tableau 1: Passage du volume brut inventorié au volume commercialisé (d'après FAO, 1981)



2. Résultats acquis concernant l'évaluation qualitative des peuplements forestiers

Différentes méthodes ont été mises au point et validées par l'expérience. Les principaux résultats sont présentés et synthétisés.

2.1 Principe de la cotation en choix inventaire : critères unitaires et règles de classement

La caractérisation des arbres sur pied passe par la qualification d'un ensemble de critères précédemment décrits. Cette caractérisation analytique de nombreux critères est alors synthétisée de façon simple et opérationnelle pour aboutir à des règles de classement.

Pour le classement des arbres sur pied, le tableau 2 donne les règles de cotation des arbres sur pied en cinq classes, décomposées en trois points (forme de la bille, état sanitaire et stade de développement de l'arbre, aspect du bois visible sur écorce) et différents critères. Puis le tableau 3 donne l'intégration des trois points en une cotation globale de 1 à 5 (Lanly et Lepitre, 1970).

Tableau 2 : Cotations des arbres sur pied (Lanly et Lepitre, 1970)

Note ->	1	2	3	4	5
Forme	Droite et cylindrique	1 courbure légère ----- Forme conique ----- Section ovale ----- 1 méplat sur toute la hauteur ----- 1 gouttière peu accentuée ----- 2 ou 3 méplats au dessus des contreforts	1 courbure prononcée ----- Forme conique + Section ovale ----- 2 ou 3 méplats 2 courbures légères ----- 1 contrefort allongé ----- 2 gouttières peu accentuées	1 courbure prononcée + 1 contrefort allongé ou 1 gouttière (2m) ou 2 ou 3 méplats ----- 1 contrefort allongé + 1 gouttière (2m) ou 2 ou 3 méplats ----- 1 gouttière (2m) + 2 ou 3 méplats ----- 2 courbures prononcées ----- 1 courbure prononcée + 1 courbure légère ----- 1 côte	Section cannelée Section côtelée (2 côtes ou plus) ----- 1 coude ----- 1 baïonnette ----- 1 gouttière prononcée de 2m
Etat sanitaire et Stade de développement	Sain Ni gourmands Ni noeuds couverts	1 gros gourmand	2 gros gourmands ----- 1 traînée noire	Plus de 2 gros gourmands ----- 1 branche cassée 1 trou de pic	Pourriture visible sur pied ----- 1 noeud pourri Tronc sonnante creux
Aspect du bois	Fil droit et aucun défaut : ni épines, ni picots, ni grains d'orge, ni traces de blessures, ni broussins ...	Fil irrégulier (très légères côtes dans tous les sens) ----- 1 trace de blessure cicatrisée ----- 1 bosse légère ----- Epines visibles ----- Vissage léger et localisé ----- Ecorce soulevée en plusieurs endroits	Vissage léger <15° ----- 2 à 3 bosses ou gros noeuds cicatrisés ----- Plusieurs traces de blessures	Vissage léger <15° + léger bosselage ----- Plus de 3 bosses en gros noeuds cicatrisés	Fil vissé à > 15° ----- Roulant bosselé

Il s'agit en fait de répartir des volumes inventoriés (et non des tiges) dans les différents choix. On peut choisir de classer l'arbre entier, mais le plus souvent, pour améliorer la précision, on divise l'arbre en tronçons :

- tronçons de longueur variable en fonction de la localisation des défauts; (en théorie c'est la méthode la plus précise, mais elle est subjective et longue, donc quasiment impossible à mettre en oeuvre sur le terrain),
- tronçons égaux de longueur fixe,
- tronçons de longueur égale à une fraction de la longueur de la tige; (c'est la méthode préconisée par Lanly et Lepitre (1970), appliquée dans toutes les études du Cirad-Forêt, en divisant le tronc en trois tronçons¹).

Tableau 3 : Grille de correspondance entre cotations par critère et cotations « globales » (choix inventaire) (Lanly et Lepitre, 1970)

Choix inventaire	Ensemble des 3 cotations			Choix inventaire	Ensemble des 3 cotations		
	Forme	Etat	Aspect		Forme	Etat	Aspect
1	1	1	1	3	1	3	1
	1	1	2		1	3	2
	2	1	1		2	3	1
	2	1	2		1	3	3
2	1	2	1		3	3	1
	2	2	1		2	3	2
	1	2	2		2	3	3
	2	2	2		3	3	2
	1	1	3		3	3	3
	1	2	3		3	3	3
	2	1	3		Un 4 à la troisième colonne		
	2	2	3		4	Tous les ensembles avec un ou plusieurs 4 (sauf un 4 à la troisième colonne)	
	3	1	1	5	Tous les ensembles avec un ou plusieurs 5		
	3	1	2				
	3	2	1				
	3	1	3				
	3	2	3				
	3	2	3				

Lors de cette décomposition, il est judicieux d'éliminer globalement les arbres supposés non exploitables. En effet, par exemple, si les 2/3 d'un arbre sont inutilisables, celui-ci ne sera pas abattu quelle que soit la qualité du troisième tiers. Ceci conduit à définir un choix supplémentaire 5E. Le tableau 4 donne la liste des cotations par tiers qui définissent ce sixième choix (Bertault, 1989).

¹ On admet alors à partir d'une étude réalisée sur environ 700 arbres (citée par Bertault, 1989) que le volume total donné par le tarif de cubage se répartit en 44% dans le premier tiers, 33% dans le second tiers, 23% dans le tiers supérieur (Lanly et Lepitre, 1970).

Tant pour la cotation des arbres sur pied que pour les classements ATIBT des grumes, les classes sont toujours définies sans référence à la destination du bois : on parle de choix 1, 2, ... et non de qualité export, déroulage, sciage En effet, le choix de la destination reste à l'appréciation des exploitants et transformateurs et non de l'instance de normalisation qui définit les règles de classement. Comme indiqué en introduction, les critères de qualité des arbres sur pied sont en fait très proches des critères visibles sur le roulant du classement ATIBT des grumes.

Tableau 4. Règles de cotation du choix 5E (pour l'arbre entier) : Arbre dont la somme des cotations des trois tiers est supérieure ou égale à 13, ou arbre dont le tiers inférieur est de choix 5 et la somme des cotations des trois tiers de 11 ou 12. Bertault, 1989.

Choix inventaire	Tiers inférieur	2ème tiers	Tiers supérieur
	5 E	5	5
5		1	5
5		4	2
5		2	4
5		3	3
5		5	2
5		2	5
5		4	3
5		3	4
5		4	4
4		5	4
4		4	5
5		5	3
3		5	5
5		5	4
5		3	5
5		4	5
4		5	5
5		5	5

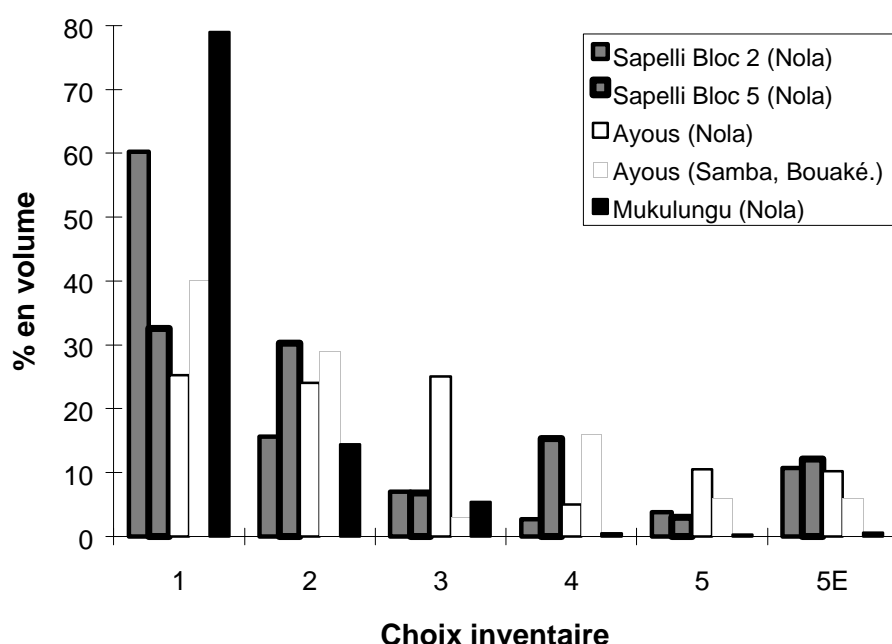
Les règles générales de classement doivent cependant être adaptées aux caractéristiques particulières des différentes essences : par exemple, au Gabon (CTFT, 1972), pour l'Okoumé (*Aucoumea klaineana*), on a été amené à donner plus d'importance à la présence d'épines nombreuses car ce défaut était sévèrement sanctionné sur les billes exportées.

2.2 Exemples de résultats concernant la répartition des volumes bruts en choix inventaire

Même sans référence à un coefficient de commercialisation, la cotation des volumes sur pied a un intérêt pour comparer des peuplements et des essences.

Par exemple, la figure 1 montre qu'au moment des inventaires, la qualité du Sapelli était variable dans la région de Nola (RCA), que l'Ayous (Samba, *Triplochiton scleroxylon*) de Bouaké (C.I.) était de meilleure qualité que celui de Nola (RCA). Si à Nola, les Ayous (*Triplochiton scleroxylon*) étaient plutôt mal conformés, le Mukulungu (*Austranella congolensis*) était par contre de très belle qualité.

Figure 1. Exemple de répartition des volumes bruts en choix inventaire, d'après Lanly et Lepitre, 1970, pour l'Ayous (Samba, *Triplochiton scleroxylon*), le Mukulungu (*Austranella congolensis*) et le Sapelli (*Entandrophragma cylindricum*).



Notons que la cotation de qualité n'est pas forcément effectuée sur tous les arbres inventoriés. Pour pouvoir appliquer ensuite les résultats à la totalité des volumes bruts inventoriés, il convient toutefois de choisir objectivement des arbres représentatifs. Bertault (1989) suggère de choisir les deux premières tiges de la parcelle d'inventaire appartenant aux essences commerciales et à partir d'une classe de diamètre exploitable.

La ventilation des volumes bruts en six choix « inventaire » est une première estimation du volume commercialisable. Mais la proportion des rebuts et la qualité des billes extraites restent encore inconnues. Elles dépendent cependant beaucoup des choix inventaire et leur connaissance est l'objectif des études de récolement.

2.3. Principes des études de récolement

Le récolement est une phase de contrôle importante dans la gestion durable de la ressource.

2.3.1. Objectifs et méthodes d'étude

L'exploitation forestière laisse des rebuts, et produit des grumes de qualités différentes (classements ATIBT). L'étude de récolement entre inventaire et exploitation permet (Lanly et Lepitre, 1970) :

- de déterminer la proportion d'arbres réellement abattus par rapport à ceux jugés exploitables lors de l'inventaire,
- de calculer la proportion des volumes abattus et non commercialisés,
- de réunir les données nécessaires pour établir la corrélation entre les choix inventaire du classement des arbres sur pied et les classements des grumes.

Elle consiste à :

- choisir un classement des grumes. Le classement ATIBT est préconisé car il est opérationnel, bien qu'il ne soit généralement pas effectué systématiquement par les exploitants qui utilisent généralement une classification en fonction des destinations (export, sciage ...).

Une simplification est préconisée en quatre classes : une classe supérieure (regroupant les choix ATIBT I, I/II et II), une classe intermédiaire (regroupant les choix ATIBT II/III et III), une classe scierie, une classe rebut correspondant au bois abandonné ou purgé (cas de la Côte d'Ivoire, Lanly et Lepitre, 1970). Au Gabon, pour l'Okoumé (*Aucoumea klaineana*), un système à quatre classes a également été adopté, fondé sur les choix grumes de la SNBG² : une classe supérieure (choix 1, 1/2, 2, 2/3), une classe intermédiaire (choix 3, PR2), une classe sciage (sciage et PR3), une classe rebut (CTFT, 1972).

Les résultats les plus fiables et les plus importants concernent la proportion de rebut, de sorte que l'on peut éventuellement se contenter de deux classes « volume commercialisé » et « rebut » (comme c'était par exemple le cas pour les bois divers au Gabon en 1972 (CTFT, 1972).

- choisir un échantillon d'exploitations forestières représentatif des différentes zones géographiques et des différentes essences exploitées, des courants commerciaux (export seul ou export et vente locale).
- choisir un échantillon d'arbres représentatif et suffisamment grand. D'après Lanly et Lepitre (1970), pour une essence, un échantillon de l'ordre de cinquante arbres prélevé sur des chantiers d'exploitation de même conception peut suffire pour déterminer la part du

² Société Nationale des Bois du Gabon, société para-étatique, qui a le monopole de la commercialisation de l'Okoumé (*Aucoumea klaineana*) et de l'Ozigo (*Dacryodes buettneri*).

seul rebut dans chaque choix inventaire. Cent arbres au moins sont nécessaires pour connaître avec une bonne précision la part de rebut et de choix « scierie » dans chaque choix inventaire pour des chantiers un peu différents (compagnies, localisation par rapport aux ports). Quelques centaines d'arbres sont nécessaires pour connaître la part des quatre choix grumes dans chaque choix inventaire.

- suivre l'exploitation et relever les volumes abandonnés en forêt (dépouillement des carnets de chantier), mesurer les volumes commercialisés arbre par arbre et grume par grume, en distinguant les différents choix grumes. Lorsque les mesures ne peuvent pas être prises sous écorce, il faut penser à estimer les volumes d'écorces car le cubage sur pied est effectué sur écorce, et le cubage des grumes sous écorce (voire sous aubier comme dans le cas de l'Iroko). L'organisation de ce travail long et délicat est à adapter aux moyens locaux et aux conditions particulières de chaque étude. On en trouvera des descriptions détaillées dans Lanly et Lepitre 1970, CTFT 1972 et J.B. Bertault 1989.

2.3.2. Calculs et représentation des résultats

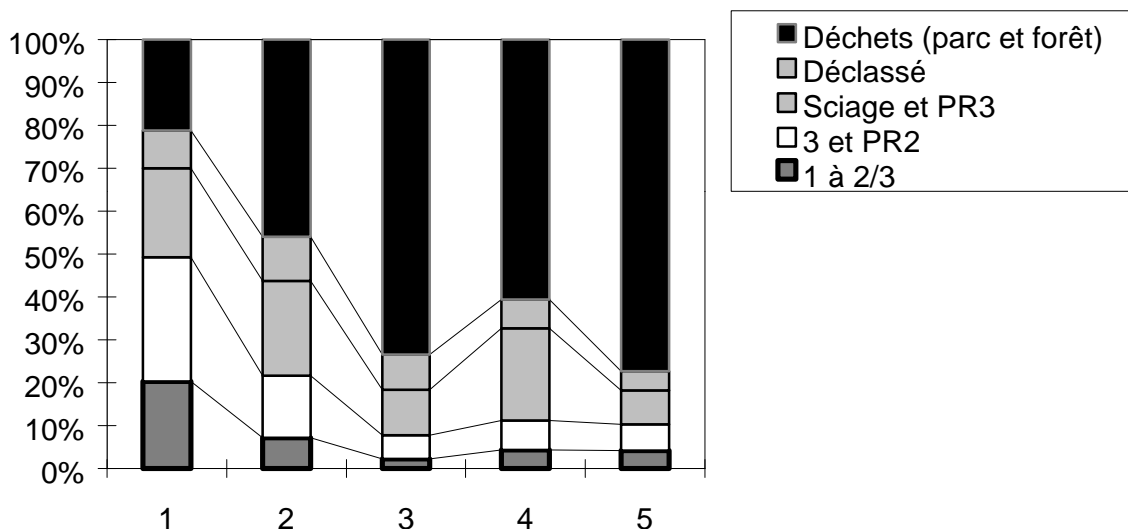
Les résultats utiles sont (voir tableau 5 et figure 2, exemple sur l'Okoumé, *Aucoumea klaineana*) :

- la proportion du volume brut inventorié qui correspond à des arbres non abattus en dehors du choix inventaire 5E, ou abattus et laissés en forêt,
- la proportion du volume brut inventorié qui correspond au volume d'écorce (ou au volume d'écorce et d'aubier pour certaines essences telles que l'Iroko (*Milicia excelsa*) et qui n'est pas comptabilisée dans les volumes commerciaux cubés après exploitation. Compte tenu des contraintes d'organisation des relevés de récolement au sein des chantiers d'exploitation, ces deux premières données sont estimées globalement et non pas par choix inventaire,
- les proportions de choix grumes (et de déchets), pour les volumes abattus et débardés dans chaque choix inventaire.

Tableau 5. Résultats de l'étude de récolement : ventilation des volumes obtenus. Pour les arbres abattus et débardés, sont données les proportions dans chaque choix grume après exploitation de 100m³ de chacun des choix-inventaire. (La somme de chaque ligne du tableau supérieur est donc égale à 100%). Le volume laissé en forêt et le volume d'écorce sont également donnés par une estimation globale. Exemple de l'Okoumé au Gabon (tous chantiers, CTFT 1972).

	Choix grume 1 1, 1/2, 2, 2/3	Choix grume 2 3, PR2	Choix grume 3 sciage et PR3	Choix grume 4	Déchets
Inventaire 1	20,3 %	28,9 %	20,8 %	8,8 %	21,2 %
Inventaire 2	7,2 %	14,5 %	22,1 %	10,2 %	46 %
Inventaire 3	2,2 %	5,6 %	10,5 %	8,2 %	73,4 %
Inventaire 4	4,3 %	6,9 %	21,4 %	6,8 %	60,6 %
Inventaire 5	4,1 %	6,1 %	8,1 %	4,4 %	77,3 %
Volume laissé en forêt (arbres non abattus ou non débardés)		5 % du volume total inventorié 1 à 5			
Volume d'écorce		4 % du volume total inventorié 1 à 5			

Figure 2 : Représentation graphique des résultats du tableau 5 : ventilation des volumes des différents choix grumes obtenus à partir des différents choix inventaire (arbres abattus et débardés).



Ces données sont alors utilisées pour connaître par extrapolation la ventilation des volumes bruts d'un inventaire (l'échantillonnage du récolement étant bien entendu supposé représentatif). Par exemple, les résultats sur l'Okoumé (CTFT 1972) ont été obtenus sur cinq chantiers et 441 pieds représentant un volume brut de 4040 m³. Supposons maintenant que l'on dispose de résultats d'inventaire sur un bloc de 80 000 ha ayant abouti aux proportions suivantes (Tableau 6).

Tableau 6. Résultats d'inventaire obtenus indépendamment du récolement.

Choix inventaire	1	2	3	4	5	5E
% volume inventorié	45,6	20,9	8,1	6,7	8,1	10,6

Les résultats du tableau 5 permettent de prévoir la ventilation suivante pour 100 m³ inventoriés dans le bloc (Tableau 7). La proportion d'un choix grume P_i (volume de choix i commercialisable à partir des 100 m³ bruts initiaux) est donnée par :

$$P_i = (1 - e)(1 - a) \sum_{j=1}^{j=5} c_{ji} p_j$$

avec

e : taux d'écorce (en % du volume brut) donné dans le tableau 5

a : volume abandonné en forêt (en % du volume brut) donné dans le tableau 5

c_{ji} : volume commercialisable de choix grume i dans le choix inventaire j (en % du volume de choix inventaire j), donné dans le tableau 5.

p_j : proportion de choix inventaire j (en % du volume brut) dans le bloc inventorié, donnée dans le tableau 6.

Tableau 7. Coefficients P_i calculés : ventilation des volumes en déchets et volumes commercialisables, eux mêmes ventilés en 4 choix grumes. Exemple pour l'Okoumé, en fonction des tableaux 5 (inventaire) et 6 (récolement), d'après CTFT, 1972.

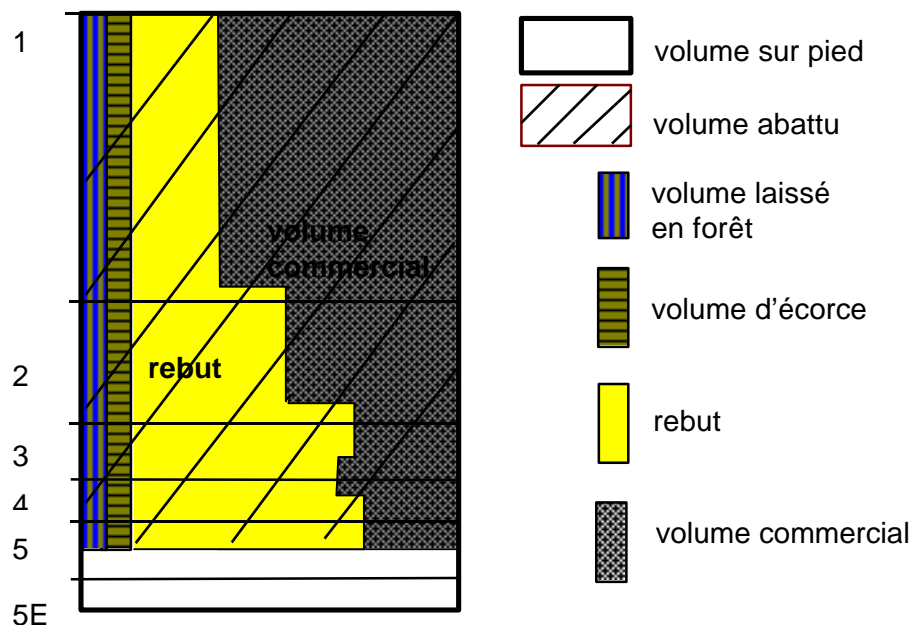
	Choix grume 1 1, 1/2, 2, 2/3	Choix grume 2 3, PR2	Choix grume 3 sciage et PR3	Choix grume 4	Déchets (parc et forêt, + écorce)
% volume inventorié	11%	16%	15,5%	7,0%	50,9%

Le coefficient de commercialisation est :

$C = 1 - P_{\text{déchets}}$, soit 49,1% dans notre exemple.

Ces résultats peuvent également être mis sous la forme d'un graphique (Figure 3) :

Figure 3. Utilisation du volume brut inventorié par l'exploitant : passage du volume sur pied stratifié en choix inventaire, au volume commercialisé (Données des tableau 5 et 6).



Des adaptations de cette méthode générale sont possibles en fonction de l'objectif : par exemple, au Gabon (CTFT 1972), des déchets récupérables et non récupérables ont été distingués, avec l'idée qu'une partie des volumes non utilisés à la date de l'étude de récolement pourraient l'être dans l'hypothèse d'un développement sur place d'industries de transformation (notamment du sciage).

2.4. Quelques résultats concernant des études de récolement

Les études de récolement fournissent des enseignements utiles pour l'amélioration de l'exploitation forestière.

2.4.1. Coefficients de commercialisation de différentes essences dans une même zone

Le Tableau 8 récapitule les coefficients de commercialisation des principales essences exploitées en Côte d'Ivoire (Lanly et Lepitre, 1970). La plage importante de variation - autour de 30% pour le Samba (*Triplochiton scleroxylon*) mal conformé et le Koto (*Pterygota spp.*) où l'on enregistrait des pertes importantes à l'abattage, plus de 60% pour des bois rouges recherchés et bien conformés - montre bien l'intérêt de telles études.

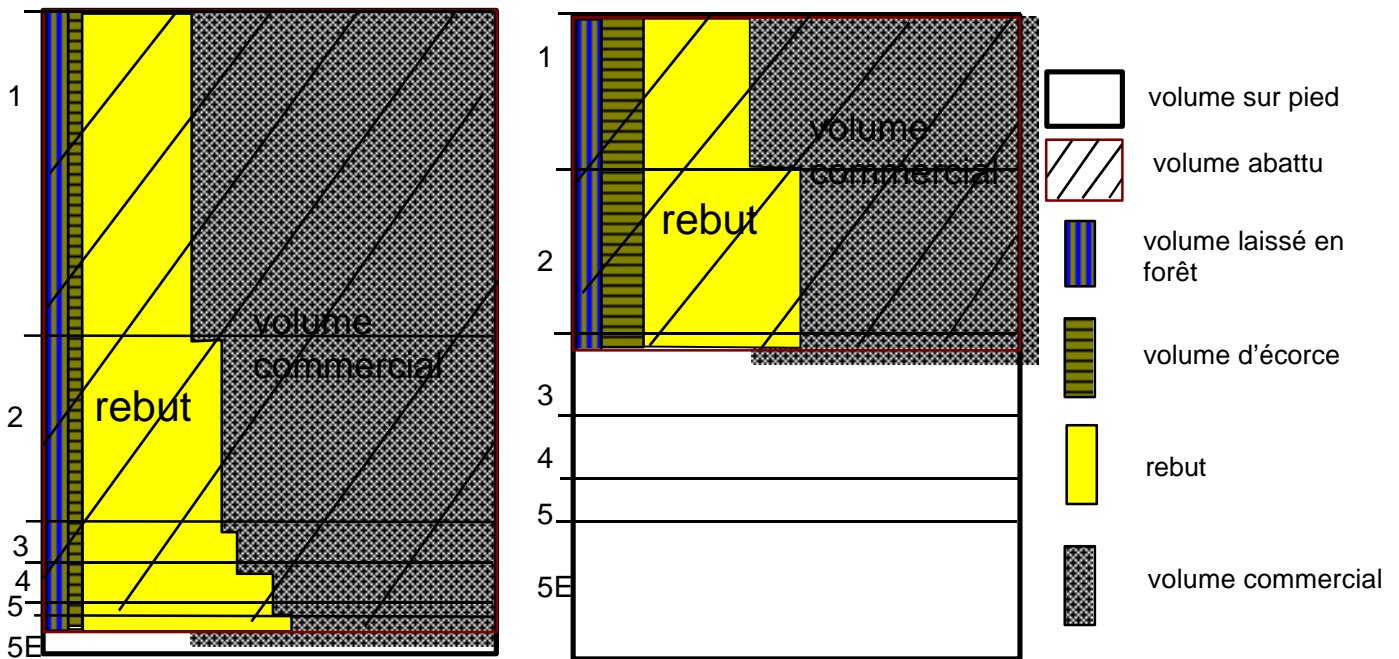
La figure 4 montre graphiquement les différences entre :

- une essence très recherchée où d'une part les arbres sont de bonne qualité (beaucoup de choix inventaire 1 et 2, peu de 4,5 et 5E), d'autre part les exploitants valorisent tous les arbres en dehors du choix 5E,
- une essence peu recherchée où l'on exploitera que les choix inventaire 1 et 2, au demeurant en faible proportion.

Tableau 8 : Coefficients de commercialisation de vingt quatre essences de Côte d'Ivoire en 1970 (Lanly et Lepitre 1970). * Pour l'Iroko, les volumes commerciaux sont mesurés sous aubier.

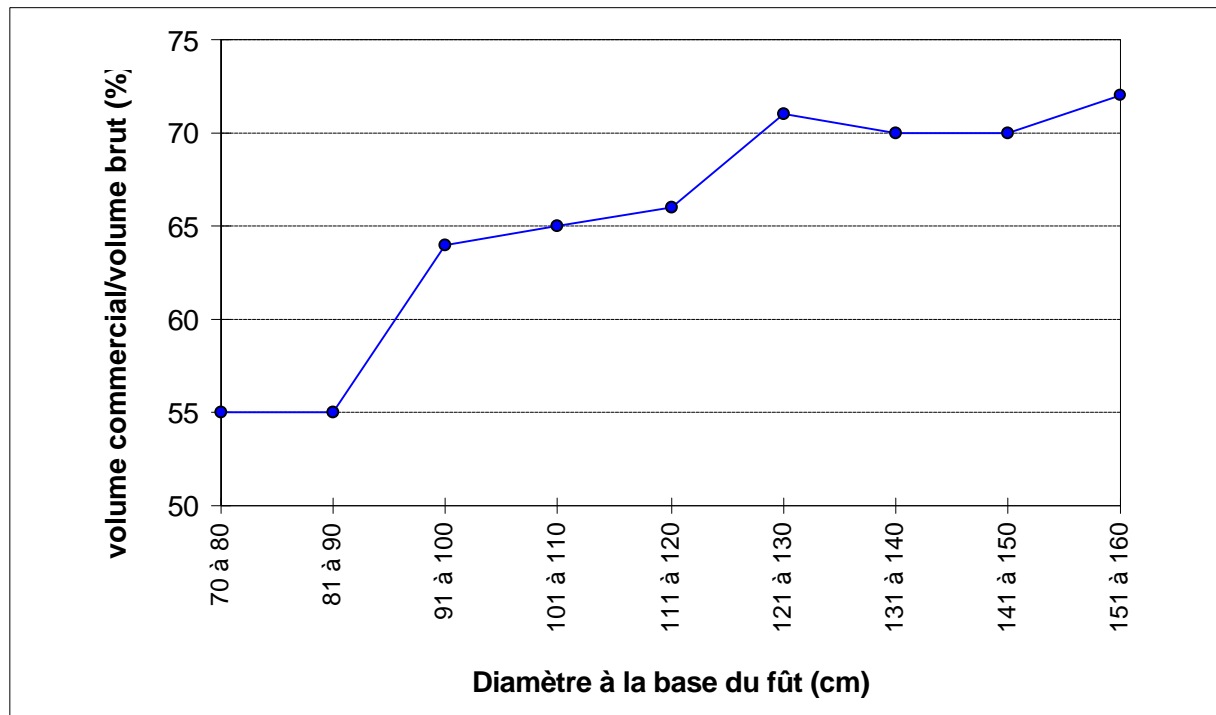
Essences	Coefficient C en %
Sipo (<i>Entandrophragma utile</i>)	68
Kosipo (<i>Entandrophragma candollei</i>)	68
Sapelli (<i>Entandrophragma cylindricum</i>)	64
Acajou (<i>Khaya anthotheca, K. ivorensis, K. grandifolia</i>)	63
Makoré (<i>Tiegemella heckelii, T. africana</i>)	63
Amazakoué (Ovengkol) (<i>Guibourtia ehie</i>)	63
Bossé (<i>Guarea cedrata, G. thompsonii</i>)	62
Tiama (<i>Entandrophragma angolense, E. congoense</i>)	61
Dibétou (<i>Lovoa trichilioides</i>)	58
Bété (Mansonia) (<i>Mansonia altissima</i>)	55
Lingué (Doussié) (<i>Azelia africana, A. bella, A. bipindensis, A. pachyloba</i>)	55
Framiré (<i>Terminalia ivorensis</i>)	53
Fromager (Fuma) (<i>Ceiba pentandra</i>)	49
Ilomba (<i>Pycnanthus angolensis</i>)	49
Ako (<i>Antiaris toxicaria</i>)	48
Assamela (<i>Afrormosia</i>) (<i>Pericopsis elata</i>)	47
Niangon (<i>Heritiera densiflora, H. utilis</i>)	45
Iroko * (<i>Milicia excelsa</i>)	42
Kotibé (<i>Nesogordonia papaverifera</i>)	42
Avodiré (<i>Turraeanthus africana</i>)	40
Kondroti (<i>Rhodognaphalon brevicuspe</i>)	37
Samba (Ayous) (<i>Triplochiton scleroxylon</i>)	34
Koto (<i>Pterygota spp.</i>)	29

Figure 4. Passage des volumes bruts sur pied stratifiés en choix inventaire, aux volumes commercialisés. Comparaison entre une essence recherchée (à gauche, Acajou, Sipo ... en Côte d'Ivoire) et une essence peu recherchée à l'époque (à droite, Samba, Ouest de la Côte d'Ivoire). Lanly et Lepitre 1970.



2.4.2. Comparaison des coefficients de commercialisation pour différentes classes de diamètre

Figure 5. Augmentation du coefficient de commercialisation avec le diamètre de l'arbre pour l'Okoumé (CTFT 1972)



Le coefficient de commercialisation augmente naturellement avec le diamètre des arbres (de 55% à 72%, cas de l'Okoumé, CTFT 1972, figure 5). L'ampleur de l'augmentation peut alors justifier de stratifier le volume inventorié en plusieurs classes de diamètre et pas uniquement en fonction des cotations qualitatives (choix inventaire) pour calculer avec précision le coefficient de commercialisation (CTFT 1972).

2.4.3. Comparaison de contextes d'exploitation différents

Une étude de récolement dans plusieurs types d'entreprises ou plusieurs zones géographiques permet d'analyser des différences de rendement (à condition bien entendu de disposer d'échantillons assez grands et représentatifs de l'essence dans chaque situation). Un chantier situé dans une zone où l'essence est peu recherchée, ou qui ne fait que de l'export (de grumes de déroulage par exemple), aura tendance à ne valoriser que les choix inventaire supérieurs : seule une faible part du volume sur pied sera abattue et débardée.

A l'opposé, dès que la demande sur l'essence augmente ou qu'il y a possibilité d'écouler des produits auprès de transformateurs locaux (sciage), l'exploitation s'effectuera dans tous les choix inventaire, et ce malgré une proportion importante de déchets (Figure 6). Notons que dans ce dernier cas, une part des déchets du premier type d'exploitation pourrait être récupérée, ce qui augmentera les coefficients de commercialisation des premiers choix (Figure 7)

Figure 6. Comparaison entre deux modes d'exploitation de la même essence (même répartition des choix inventaire, cas du Samba en Côte d'Ivoire) : à gauche, l'essence est peu recherchée et on exploite seulement les plus beaux arbres (ouest); à droite, l'essence est moyennement recherchée et on exploite plus d'arbres malgré des rebuts importants dans les choix inventaires inférieurs (centre). Lanly et Lepître 1970.

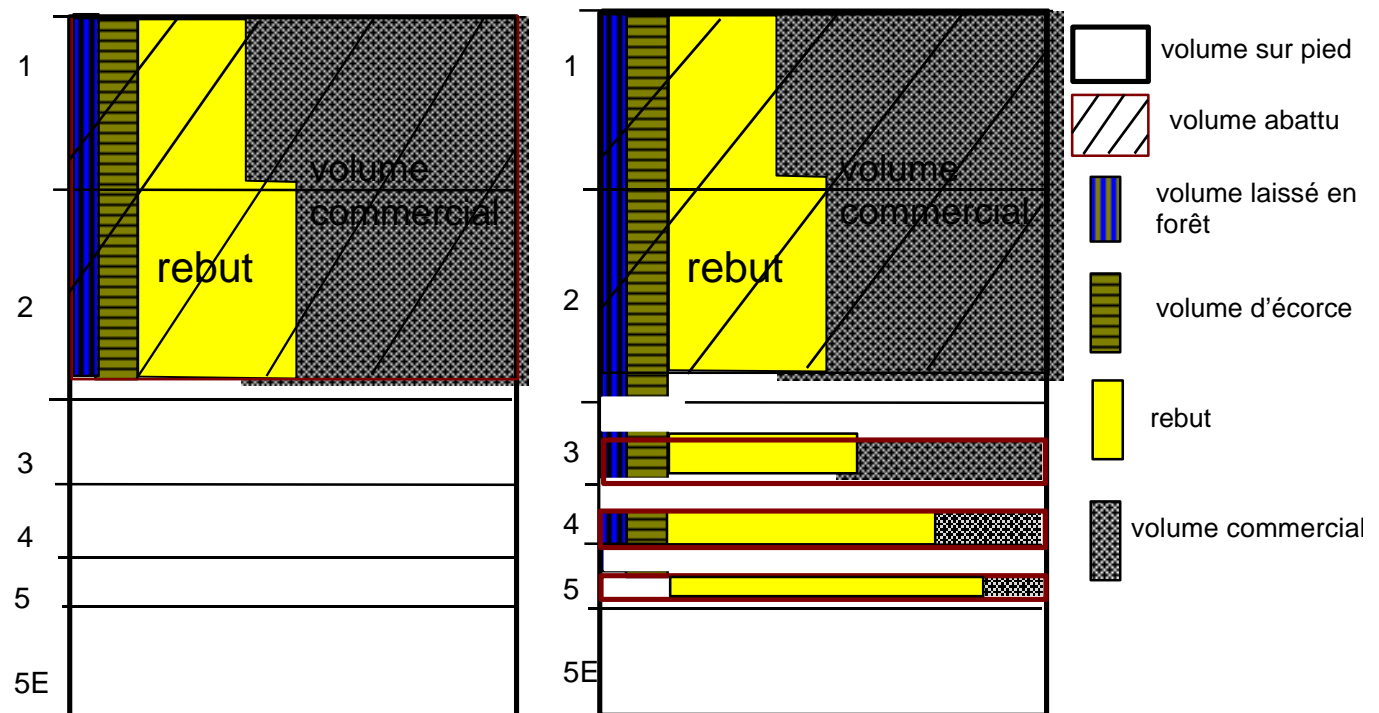
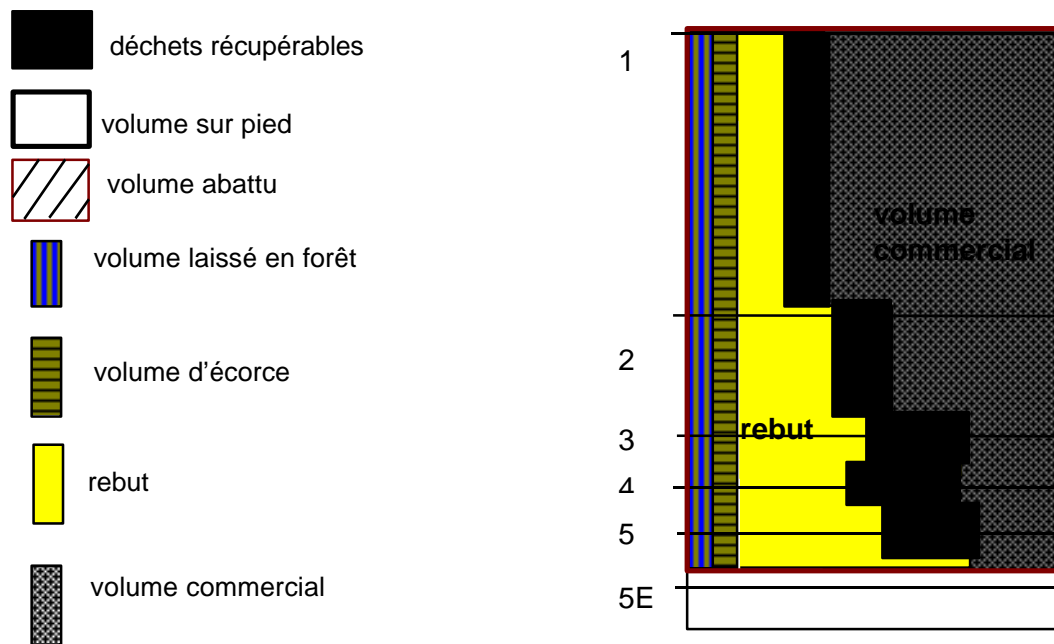


Figure 7. Résultats de l'étude de récolement pour l'Okoumé (CTFT 1972) : en présence d'une industrie du sciage, un certain nombre de déchets de l'exploitation traditionnelle sont valorisables



3. Discussion et perspectives

L'estimation de la qualité des arbres sur pied reste aujourd'hui une préoccupation des acteurs de la gestion durable des forêts tropicales.

3.1. le système de cotation des arbres sur pied

Le système général de cotation des arbres sur pied, largement diffusé par la FAO (1981), est opérationnel, sous réserve d'adaptations pour certaines essences. Relativement complexe et délicat à mettre en oeuvre avec rigueur, il n'a d'intérêt que si des études de récolement menées en aval permettent d'utiliser les choix inventaire comme une stratification pour calculer des coefficients de commercialisation. C'est une méthode adaptée à des inventaires systématiques sur de grandes surfaces.

Dans l'hypothèse où il s'agirait plutôt de comparer des peuplements, et notamment de détecter les situations de qualité dégradée (comme par exemple, le passage répété sur une zone ayant déjà été exploitée, les cas où une essence demandée sur le marché mais devenant rare, est exploitée aux frontières de son aire de répartition écologique ...), on peut sans doute imaginer des systèmes plus pragmatiques et plus faciles à mettre en oeuvre en :

- se limitant à certaines essences,
- se limitant à observer certains gros défauts reconnus comme les plus disqualifiants

Dans la mesure où le système de cotation demande de relever de nombreux critères (forme, état, aspect), il serait intéressant de traiter ces données multidimensionnelles arbre par arbre, soit par des méthodes classiques d'analyse désormais faciles à mettre en oeuvre (Analyse des Correspondances Multiples (ACM), classification automatique ...), soit par des méthodes plus évoluées (intelligence artificielle...). Ceci permettrait de discuter la pertinence du système de cotation dans chaque situation. En particulier, le nombre de classes, assez élevé (6), et le faible effectif souvent observé dans la classe médiane 3 conduisent à remettre en cause la pertinence de cette classe (les valeurs de récolement dans cette classe auront peu de précision). En outre, les variations des critères unitaires peuvent être riches d'enseignement : lorsque l'inventaire montre deux peuplements de qualité très différente, on peut désirer savoir si c'est plutôt un problème de conformation de certaines essences, un problème général d'état sanitaire ... (notamment dans l'hypothèse où une sylviculture est envisagée).

Enfin, l'estimation de la qualité des arbres sur pied basée sur les seuls défauts externes s'avère parfois imprécise. Il serait donc intéressant de disposer de méthodes pour sonder l'intérieur des arbres et pour émettre des hypothèses fiables sur :

- les risques d'éclatement à l'abattage,
- l'ampleur et la forme des pourritures internes,
- l'épaisseur d'aubier pour les essences cubées sous aubier,

Nous en reparlerons au paragraphe 3.4.

3.2. Sur les études de récolement

Les études de récolement s'effectuent sur chantier et sont le fruit de la collaboration entre l'inventoriste et les responsables de l'exploitation. Dans la mesure où les observations sur chantier portent sur les arbres abattus, l'évaluation des arbres laissés sur pied par l'exploitant (autre que le choix 5E de l'inventoriste) reste imprécise, et c'est là une faiblesse importante de la méthode (Lanly et Lepitre 1970).

Le résultat recherché dans ce type d'étude est un coefficient de commercialisation. Les choix inventaire représentent une stratification du volume inventorié pour améliorer la précision de ce résultat. Mais le coefficient de commercialisation est également très lié au diamètre des arbres, de sorte qu'il semble utile de stratifier les volumes inventoriés non seulement en fonction du choix inventaire mais aussi par rapport à des classes de diamètre.

Notons que le diamètre est également un critère de qualité des grumes (au sens qu'il se traduira ensuite par des rendements matière à la transformation supérieurs), bien qu'il ne soit pas pris en compte dans les classements ATIBT. A titre de comparaison, la norme française de classement des bois ronds considère le diamètre comme un critère majeur (CTBA, 1992) ³

Enfin, les récolements nécessitent des études très lourdes au sein d'un échantillonnage important de chantiers ayant des options d'exploitation variées. Ces données pourraient être utilisées de façon plus approfondie pour étudier le comportement des exploitations (typologie en fonction des options), modéliser et simuler l'impact de changements de comportement : développement d'une industrie du sciage et augmentation de la demande sur le marché local, diminution de la ressource en essences recherchées de qualité, augmentation de la demande pour certaines essences secondaires ...

3.3. Les objectifs de l'estimation de la qualité des arbres sur pied ont-ils changé depuis trente ans ?

La méthode « inventaire et récolement » a été développée dans le cadre d'inventaires systématiques sur de grandes surfaces, effectués avec un taux de sondage faible.

L'estimation de la qualité lors de l'inventaire « en plein » d'un périmètre moins étendu avant sa mise en exploitation, qui passe alors par la caractérisation fiable de chaque arbre est un autre problème, pour l'instant peu abordé. En effet, cette prospection méthodique est le guide de l'exploitation mais, jusqu'à présent, on lui demande plus une assurance sur la localisation des peuplements et sur l'ordre de grandeur des volumes disponibles, qu'une connaissance fine des cubages commercialisables par classes de qualité.

Ce problème deviendrait crucial en cas de mode de vente « pied à pied » des arbres (martelage préalable comme en Europe), en cas de forte pression sur une ressource raréfiée et de qualité moindre (repassage sur des zones déjà exploitées) qui obligerait à classer les arbres très précocement avec fiabilité et qui augmenterait la valeur du bois sur pied ... Mais en l'état actuel de l'exploitation du bois en forêt dense humide, la demande reste faible.

Il existe actuellement de fortes pressions pour l'aménagement durable des forêts. Ces aménagements, peuvent être réalisés à des échelles très différentes : grandes surfaces dans le bassin du Congo (de l'ordre de 100 000 ha), massifs de plus en plus petits en Afrique de l'Ouest où déforestation a été et reste importante (quelques dizaines de milliers d'hectares, voire moins). Il est clair que si les techniques d'aménagement progressent, la demande en termes de connaissance de la ressource sur ces surfaces aménagées (avec un parcellaire, une zonation ...) plus « surveillées » et éventuellement plus petites va évoluer et que des méthodes adaptées sont à inventer⁴.

³ Bien entendu, ces normes de classement sont adaptées au bois tempérés des forêts françaises et donc à des contextes d'exploitation très différents.

⁴ A titre de comparaison, en France métropolitaine, on sait bien que l'Inventaire Forestier National, à l'échelle du pays et des départements avec un objectif purement descriptif, n'a pas les mêmes méthodes de description des peuplements que l'Office National des Forêts qui cherche à prendre des options d'aménagement et de gestion à l'échelle de massifs de quelques milliers d'hectares.

En plantation (pour le bois d'oeuvre), l'estimation de la qualité se présente de façon différente. Les arbres sont assez semblables, leur environnement et son histoire sont plutôt bien connus, mais par contre il apparaît de fortes variations de qualité dans le même arbre (bois juvénile, bois de réaction ...). De plus, les conditions d'exploitation ne sont plus une « cueillette » des meilleurs arbres avec un taux de déchets important, mais l'obligation de valoriser quasiment tous les arbres et d'admettre des sujets mal conformés ... (avec en contrepartie des facilités d'exploitation et de transport). Enfin, une forte proportion de ces bois devrait être transformée sur place, avec installation d'industries à proximité des plantations. Les tris deviennent alors un problème crucial au niveau des grumes, des produits de première transformation.

3.4. Nouveaux outils et nouvelles méthodes pour mesurer la qualité de l'arbre en forêt

Tableau 9. Les différents outils de mesure de la qualité interne du bois dans les arbres sur pied

Méthode	Matériel commercialisé	Coût et conditions	Principes	Utilisé en forêt ?
- par carottage	- Tarière de Pressler - Fractomètre	de 1 à 3 KF 5 KF	Prélever un échantillon pour détecter des pourritures, mesurer l'épaisseur d'aubier, la résistance mécanique du bois en forêt. Autres propriétés du bois mesurables ensuite en laboratoire	oui
- par percement	- PCM - DDD 200 - Résistograph	4 KF 30 KF de 27 à 70KF	Mesurer la vitesse ou la force de pénétration d'une mèche pour détecter des pourritures (creux et bois altéré), mesurer la densité du bois	oui
- par propagation d'ondes mécaniques	- Sylvatest - Marteau Métriguard	33 KF 17 KF	Mesurer le temps de propagation d'une onde sonore sur un diamètre pour détecter des altérations internes (l'onde est alors ralentie)	oui
- par mesure électrique	- Vitalomètre	28 KF + 150F/foret	Mesurer la résistivité électrique du bois le long d'un rayon tous les 10mm, pour détecter des pourritures, des cavités, du bois sec.	oui
- Tomographie	- intervention à la demande (équipe allemande)	A négocier sécurité ?	Emettre et détecter des rayons gammas (radioactifs) pour cartographier les altérations et la structure interne de l'arbre	non

La détermination de la qualité interne du bois des arbres sur pied est un problème important, pour l'instant non traité en zone tropicale. En Europe, l'automatisation dans les industries du bois a été accompagnée du développement de méthodes nouvelles de détection des défauts des sciages, basées sur des principes physiques divers (Martin, 1996). Surtout, le diagnostic de l'état des arbres urbains a motivé de nombreuses recherches pour mettre au point des outils fiables de la qualité interne (Mattheck et Breloer, 1994, Drenou, 1997). Ils sont récapitulés dans le tableau 9 et généralement utilisés (quoique à petite échelle et plutôt à titre expérimental) en forêt tempérée.

Le CIRAD-Forêt mène actuellement des études dans son centre de Guyane sur l'ergonomie et la validité de ces outils, avec l'objectif de développer si nécessaire des appareils spécifiques adaptés à l'inventaire en forêt tropicale. Les outils fondés sur un percement et la mesure de la force nécessaire à l'avance de la mèche (Résistograph) sont actuellement les plus opérationnels (bien que

leur ergonomie soit encore à améliorer). Les outils fondés sur la propagation d'une onde mécanique sont très prometteurs mais leur fiabilité reste à améliorer. Des cahiers des charges précis devront être envisagés avec les fabricants pour permettre une utilisation fiable dans les conditions tropicales et un sondage des fûts sur toute la longueur (au moins au dessus des contreforts).

Par ailleurs, on sait qu'il existe des indicateurs visuels de l'état interne de l'arbre : les pourritures à coeur sont bien entendu reliées à l'état sanitaire externe, les fentes à coeur et les éclatements à l'abattage sont plus fréquents sur les arbres inclinés ou déséquilibrés, dans certains milieux à certaines périodes (semble-t-il)... Dans tous les cas, l'utilisation de nouveaux outils doit être envisagée dans le cadre d'une méthode globale de diagnostic basée sur les différents points suivants (Aversencq, comm. pers.) :

- une analyse stationnelle (enquête sur site) : a-t-on des données suite à un précédent inventaire, une précédente exploitation, sur la qualité des arbres ? y-a-t-il des caractéristiques du milieu connues pour influencer la qualité de certaines essences ?
- une analyse individuelle arbre par arbre :
 - diagnostic visuel de l'état physiologique (symptômes de dépérissement, appréciation de l'âge physiologique),
 - appréciation visuelle des défauts (Inventaire de tous les défauts externes, des symptômes externes de défauts internes). Utilisation de la machette ou d'un maillet pour éliminer les arbres très creux,
 - examen approfondi des défauts pour estimer l'importance des altérations éventuelles, pour quantifier la qualité du bois sain. Utilisation d'outillage spécialisé (Tableau 9).
- synthèse des résultats, arbre par arbre, essence par essence, et par unité de gestion ou d'exploitation.

Les outils spécialisés interviennent alors comme une aide au diagnostic et ne sont en aucun cas utilisés systématiquement mais seulement dans les cas litigieux, pour confirmer et surtout quantifier l'appréciation de l'expert. Une analyse visuelle bien conduite peut considérablement améliorer le diagnostic.

Des travaux de recherche à court terme, utilisant l'expérience des exploitants forestiers, le savoir-faire des experts du diagnostic des arbres urbains, les connaissances scientifiques des botanistes et des spécialistes de la qualité des bois sur le fonctionnement cambial et le développement des arbres, sont nécessaires pour formaliser des méthodes de diagnostic fiables et pratiquement utilisables, validées par quelques expérimentations directes.

Le développement et la diffusion de ces méthodes auprès des prospecteurs, des abatteurs, des chefs de chantiers sera alors un problème de formation professionnelle spécialisée. En ce domaine, le savoir-faire des experts du diagnostic des arbres urbains qui organisent couramment des formations pour les ouvriers élagueurs, les personnels des collectivités en charge de la gestion des arbres d'alignement ou de parc pourra être utile.

3.5. Qualité des arbres et des bois et écologie forestière, écophysiologie des arbres et des peuplements, génétique des populations ... ?

L'influence des conditions de croissance des arbres sur la qualité des bois est totalement inconnue (alors même qu'il semble évident que des effets existent, puisque la plupart des exploitants mentionnent l'existence de différences selon les zones et de « crûs » particuliers).

Des études pourraient se développer, conjointement aux travaux en cours sur le milieu forestier et ses dynamiques, motivées par le développement des aménagements forestiers. Les résultats de ces études menées à l'échelle d'une unité d'aménagement seraient très utiles pour alimenter la phase « analyse stationnelle » de la méthode de diagnostic global décrite au paragraphe précédent. Il reste que le problème est complexe et qu'il s'agit nécessairement dans un premier temps d'études exploratoires menées dans le cadre d'une recherche plutôt fondamentale.

3.6. Le cas particulier des plantations

Comme nous l'avons vu, la demande pour les bois de plantation est à la fois nouvelle et différente. En s'inspirant de travaux menés en Europe, en Afrique du Sud (IUFRO, 1996), on peut espérer modéliser et simuler la qualité externe et interne du bois en fonction de l'âge ou du diamètre, des conditions de plantations ..., de façon assez précise, en abattant un échantillon de quelques dizaines ou centaines d'arbres et en réalisant des essais en industrie et en laboratoire sur la qualité des produits. Le CIRAD-Forêt dispose déjà de nombreuses données et s'est fixé comme objectif la réalisation à court terme de premiers modèles « Eucalyptus » (différentes espèces et clones, Congo, Afrique du Sud, Uruguay) et « Pins tropicaux » (*Pinus kesiya*, *P. caribaeae* et *P. taeda*).

Conclusions

L'estimation de la qualité des bois sur pied a fait autrefois l'objet d'études de la part du CTFT (actuel CIRAD-Forêt), dans le cadre d'inventaires nationaux à grande échelle et à faible taux de sondage. Peu d'entreprises privées d'exploitation utilisent actuellement cette méthode d'évaluation qualitative des arbres sur pied, car elle est trop contraignante et nécessite la formation d'un personnel qualifié sur le terrain pour la prise de données. Surtout, dans la mesure où il n'existe quasiment aucune étude récente de récolement, les données sur pied ne sont que de peu d'utilité pour calculer des volumes commerciaux. Les exploitants se contentent parfois d'une estimation grossière (Bon, Mauvais, Douteux). Le classement s'effectue sur les grumes abattues par la méthode ATIBT ou une méthode dérivée simplifiée ou adaptée aux conditions particulières de chaque essence. Il n'existe alors aucun moyen d'estimer la part du volume brut sur pied commercialisable, et encore moins la ventilation de ce volume commercialisable par choix grumes, en fonction des différentes zones exploitées (résultats d'inventaire) et des conditions commerciales (présence ou non d'une transformation locale, d'un marché local). Pourtant, les résultats passés montraient une grande hétérogénéité, avec des coefficients de commercialisation très variables d'une essence à l'autre, d'un chantier à l'autre.

Dans le cadre des aménagements forestiers à venir, il sera nécessaire de mettre au point une méthode utilisable en inventaire pour aider à la planification de l'exploitation en répondant conjointement aux attentes du gestionnaire et de l'exploitant. Par rapport aux études passées, la méthode d'inventaire devra être adaptable et suffisamment simple pour permettre sa mise en oeuvre systématique lors des études préalables à l'aménagement. Des études de récolement seront nécessaires pour évaluer correctement les coefficients de commercialisation par essence ou groupes d'essence. Une meilleure valorisation de ces études sera possible, par des démarches modélisatrices fondées sur des typologies par groupes d'essences, zone géographique, stratégie commerciale ... qui permettront de simuler l'impact de différents types d'exploitation au travers de systèmes de gestion de bases de données.

De plus, pour faire progresser la fiabilité de méthodes simples d'estimation de la qualité, l'idéal serait d'appuyer la démarche sur des opérations ciblées de recherches et de formation concernant l'amélioration du diagnostic de qualité arbre par arbre (appréciation visuelle et nouveaux outils de sondage interne), et la connaissance des facteurs environnementaux (sol, topographie, état du peuplement ...) qui conditionnent la qualité.

Enfin, la valorisation des bois est jusqu'à présent encore souvent fondée sur des critères d'hyper sélection de la grume vers une seule vocation de transformation (par exemple, qualité export et déroulage pour l'Okoumé). L'augmentation de l'industrialisation des pays producteurs associée à la diversification des débouchés et des produits et donc à la valorisation d'une grande partie du bois jusqu'ici abandonné, la nécessité pour les exploitants d'éviter les gaspillages et de limiter les taxes par une sélection accrue sur pied, le souhait des gouvernements d'augmenter le prix de la ressource dans des conditions acceptables pour les exploitants forestiers et les industriels, qui implique une bonne connaissance de la ressource et de ses débouchés potentiels, ... sont autant d'arguments pour croire en l'intérêt économique du développement de méthodes d'estimation de la qualité du bois sur pied.

Bibliographie

ATIBT (Association Technique Internationale des Bois Tropicaux) 1966. Classement des rondins de bois tropicaux.

Bertault J.G., 1985. Précisions sur les procédures des cotations qualitatives rencontrées en fonction des contraintes de terrain rencontrées à Yapo. Document à diffusion restreinte, CTFT Abidjan 8p.

Bertault J.G., 1989. Estimation des volumes commercialisables en Inventaire Forestier : appréciations qualitatives et calcul des coefficients de commercialisation. CTFT Abidjan 28p.

CTBA (Centre Technique du Bois et de l'Ameublement). Classement des bois ronds feuillus. J. Baylot et P. Vautherin. Département Bois et Sciages. CTBA. Paris. 76p.

CTFT (Centre Technique Forestier Tropical), . Memento du forestier. Ministère de la Coopération, Paris. 834p.

CTFT (Centre Technique Forestier Tropical), 1979. Sciages avivés tropicaux africains. Règles de classement. CIRAD Forêt (ex-CTFT) éditeur, Montpellier.

CTFT (Centre Technique Forestier Tropical), 1980. Manuel du chef d'équipe d'inventaire. CIRAD Forêt (ex-CTFT) éditeur, Montpellier. 200p.

CTFT 1972. Estimation des volumes commercialisables. Recolement Inventaire-Exploitation. Rapport et annexes. Développement Forestier du Gabon. FAO FO SF/GAB 6. Rapport technique 11.

Drenou Ch. 1997. Analyse critique des méthodes d'évaluation de l'état des arbres. Institut pour le Développement Forestier. Rapport confidentiel et provisoire. (Etude du Ministère de l'environnement).

FAO (Organisation des Nations Unies Pour l'Alimentation et l'Agriculture), 1981. Manuel d'Inventaire Forestier. Etude FAO Forêts n°27. FAO éditeur, Rome.

IUFRO , 1996. Proceedings of the Second IUFRO Workshop : Connection between silviculture and wood quality through modelling approaches and simulation software. Berg-en-Dal, Kruger national Park, South Africa, August 26-31. IUFRO WP S5-01-04 Biological Improvement of Wood properties. CSIR, Division of Water, Environment and Forestry Technology. Pretoria.

Lanly J.P., Lepitre C., 1970. Estimation des volumes commercialisables dans les inventaires forestiers tropicaux par sondages. Bois et Forêts des Tropiques, 129 (1) 57-68.

Martin P., 1996. Productique. Cepadues éditions, Toulouse.

Mattheck C., Breloer H., 1994. Field guide for Visual Tree Assessment. Arboricultural Journal, 18 (1) 1-23. (Traduction française par l'Atelier de l'Arbre, Thenon, France).

Série FORAFRI

Document 1.

Dynamique de croissance dans des peuplements exploités et éclaircis de forêt dense africaine. Dispositif de M'Baiki en République Centrafricaine (1982-1995).

1998. Frédéric Bedel, Luc Durrieu de Madron, Bernard Dupuy, Vincent Favrichon, Henri Félix Maître, Avner Bar-Hen, Philippe Narbonni. 72 p.

Document 2.

Croissance et productivité en forêt dense humide : bilan des expérimentations dans le dispositif d'Irobo. Côte d'Ivoire (1978-1990).

1998. Luc Durrieu de Madron, Vincent Favrichon, Bernard Dupuy, Avner Bar-hen, Henri Félix Maître. 69 p.

Document 3.

Croissance et productivité en forêt dense humide : bilan des expérimentations dans le dispositif de Mopri. Côte d'Ivoire (1978-1992).

1998. Luc Durrieu de Madron, Vincent Favrichon, Bernard Dupuy, Avner Bar-Hen, Louis Houde, Henri Félix Maître. 73 p.

Document 4.

Bases pour une sylviculture en forêt dense tropicale humide africaine.

1998. Bernard Dupuy. 328 p.

Document 5.

Quelques méthodes statistiques pour l'analyse des dispositifs forestiers.

1998. Avner Bar-Hen. 110 p.

Document 6.

Aménagement forestier en Guinée.

1998. Nicolas Delorme. 185 p.

Document 7.

Le projet d'aménagement Pilote intégré de Dimako (Cameroun).

1998. Luc Durrieu de Madron, Eric Forni, Alain Karsenty, Eric Loffeier, Jean-Michel Pierre. 158 p.

Document 8.

L'identification des finages villageois en zone forestière. Justification analyse et guide méthodologique.

1998. Alain Pénelon, Luc Mendouga, Alain Karsenty, Jean-Michel Pierre. 30 p.

Document 9.

Estimation de la qualité des arbres sur pied.

1998. Meriem Fournier-Djimbi, Daniel Fouquet. 22 p.

Document 10.

Les G.P.S. De l'acquisition des relevés à leur intégration dans un SIG.

1998. Vincent Freycon, Nicolas Fauvet. 84 p.

Les bibliographies du CIRAD

Gestion des écosystèmes forestiers denses d'Afrique tropicale humide. 1. Gabon

1998. Bernard Dupuy, Catherine Gérard, Henri-Félix Maître, Annie Marti, Robert Nasi. 207 p.

Document 11.

Synthèse sur les caractéristiques technologiques de référence des principaux bois commerciaux africains.

1998. Jean Gérard, A. Edi Kouassi, Claude Daigremont, Pierre Détienne, Daniel Fouquet, Michel Vernay. 185 p.

Document 12.

Les cartes, la télédétection et les SIG, des outils pour la gestion et l'aménagement des forêts tropicales d'Afrique Centrale.

1998. Michelle Pain-Orcet, Danny Lo-Seen, Nicolas Fauvet, Jean-François Trébuchon, Barthélémy Dipapoundji. 30 p.

Document 13.

Le SIG, une aide pour tracer un réseau de pistes forestières. Méthodes et résultats.

1998. Vincent Freycon, Etienne Yandji. 70 p.

Document 14.

Parcelles permanentes de recherche en forêt dense tropicale humide. Eléments pour une méthodologie d'analyse de données.

1998. Vincent Favrichon, Sylvie Gourlet-Fleury, Avner Bar-Hen, Hélène Dessard. 67 p.

Document 15.

L'analyse de cernes : applications aux études de croissance de quelques essences en peuplements naturels de forêt dense africaine.

1998. Pierre Détienne, Faustin Oyono, Luc Durrieu de Madron, Benoît Demarquez, Robert Nasi. 40 p.

Document 16.

Dynamique et croissance de l'Okoumé en zone côtière du Gabon.

1998. Marc Fuhr, Marie-Anne Deleigue, Robert Nasi, Jean-Marie Minkoué. 60 p.

Document 17.

Les techniques d'exploitation à faible impact en forêt dense humide camerounaise.

1998. Luc Durrieu de Madron, Eric Forni, M. Mekok. 30 p.

Document 18.

Produits Forestiers Autres que le Bois d'œuvre (PFAB) : place dans l'aménagement durable des forêts denses humides d'Afrique Centrale

1999. Mathurin Tchatat – en collaboration avec Robert Nasi, Ousseynou Ndoye. 95 p.

Document 19.

L'aménagement forestier au Gabon – historique, bilan perspectives

1999. Sébastien Drouineau, Robert Nasi – en collaboration avec Faustin Legault, Michel Cazet. 64 p.

Document 20.

Croissance et productivité en forêt dense humide après incendie

Le dispositif de La Téné – Côte d'Ivoire (1978-1993)

1999. Jean-Guy Bertault, Kouassi Miézan, Bernard Dupuy, Luc Durrieu de Madron, Isabelle Amsallem. 67 p.