

ESTIMATION DES VOLUMES ET DE LA PRODUCTIVITÉ DES FORMATIONS MIXTES FORESTIÈRES ET GRAMINÉENNES TROPICALES

Données concernant les pays de l'Afrique Francophone
au nord de l'Equateur

et

Recommandations pour la conduite
de nouvelles études

par Jean CLÉMENT

*Ingénieur de recherches et d'études
Centre Technique Forestier Tropical*

SUMMARY

ESTIMATIONS OF VOLUMES AND PRODUCTIVITY OF HETEROGENEOUS FORMATIONS OF TROPICAL WOODLANDS AND GRAMINACEAE

Data concerning French-speaking African countries North of the Equator, and recommendations for the implementation of new studies

The sub-department of development of forestry resources of FAO is currently compiling records of knowledge acquired throughout the world concerning estimations of volumes and productivity of ligneous formations.

This article examines the methods employed and the results obtained in French-speaking countries in the tropical zone North of the Equator. In relation to the world-wide report it therefore gives information confined to the zone in question.

The composite woodland and graminaceous formations covered are woodland, savanna woodland, tree savanna, shrub savanna, tree steppe, shrub steppe, dwarf shrub steppe and succulent steppe. The countries in which estimations have been made are Cameroon, Upper Volta, Mali, Niger, Central African Republic, Senegal, Chad and Togo.

This review of knowledge acquired and techniques employed to estimate the production and growth of composite woodland and graminaceous formations in French-speaking countries of tropical Africa reveals that :

- existing knowledge allows of a mean estimation of the probable limits of productivity of this type of formation in function of the climate (essentially rainfall) and the degree of deterioration or defensive measures,*
- this knowledge is insufficient to assess local situations and to serve as a basis for the development of these formations,*
- techniques of surveying, mensuration and calculation have been successfully tested and can be applied, provided that sufficient resources in terms of funds and qualified technicians are mobilized.*

RESUMEN

EVALUACION DE LOS VOLUMENES Y DE LA PRODUCTIVIDAD DE LAS FORMACIONES MIXTAS FORESTALES Y GRAMINEAS TROPICALES

Datos relativos a los países de Africa de habla francesa situados al Norte del Ecuador y recomendaciones para la ejecución de nuevos estudios

El Subdepartamento de valorización de los recursos forestales de la F.A.O. procede actualmente al establecimiento, a nivel mundial, del balance de los conocimientos logrados respecto a la evaluación de los volúmenes y de la productividad de las formaciones leñosas.

En el artículo que figura a continuación se estudian los métodos puestos en aplicación, así como los resultados obtenidos en los países de habla francesa correspondientes a la zona tropical seca que se sitúa al Norte del Ecuador. Únicamente se precisan, en relación con el estudio global, datos que se limitan a la zona considerada.

Las formaciones mixtas forestales y gramíneas estudiadas son: los terrenos boscosos, la sabana boscosa, la sabana arbolada, la sabana arbustiva, la estepa arbolada, la estepa arbustiva, la estepa brenosa, la estepa suculenta y los países en que se ha procedido a evaluaciones son: Camerún, Alto Volta, Mali, Niger, R.C.A., Senegal, Tchad y Togo.

Este examen de los conocimientos conseguidos y de las técnicas puestas en aplicación se refieren a la producción y al crecimiento de las formaciones mixtas forestales y gramíneas de los países francófonos de Africa tropical y tiene por propósito demostrar:

- que los conocimientos existentes permiten una evaluación media de los límites probables de productividad de este tipo de formación en función del clima (y principalmente de la pluviometría) y del grado de degradación o de pastoreo diferido,*
- que tales conocimientos resultan insuficientes para apreciar las situaciones locales y servir de fundamento para la ordenación forestal de tales formaciones,*
- que las técnicas de inventario, de mensuración y de cálculo se han sometido a prueba con todo éxito y pueden ser ya puestas en aplicación con reserva de que se obtengan los medios suficientes, tanto económicos como en técnicos cualificados.*

PRÉAMBULE

L'article qui suit a été rédigé à partir d'une note technique dont l'objet était de faire un bilan des connaissances acquises concernant les méthodes d'estimation des volumes et de la productivité des formations ligneuses des zones tropicales sèches (moins de 1.500 mm de pluies et saison sèche de plus de 4 mois) en Afrique francophone au Nord de l'Equateur. Ce bilan s'inscrit dans le cadre d'une étude plus globale que le sous-département de la mise en valeur des ressources forestières de la F.A.O. mène actuellement au niveau mondial. Il ne faut donc considérer les méthodes mises en œuvre et les résultats obtenus que comme étant des informations partielles et limitées aux pays francophones d'Afrique.

1. LES FORMATIONS CONCERNÉES

En Afrique de l'Ouest, les formations mixtes forestières et graminéennes s'étendent entre le Sahara au Nord et la forêt dense humide au Sud depuis le Sénégal à l'Ouest jusqu'à la République Centrafricaine à l'Est.

Cette étude ne concerne que les formations feuillues mixtes forestières et graminéennes dans lesquelles la synusie arborée ou arbustive couvre plus de 10 % de la surface au sol.

Ces formations peuvent se classer, d'après la classification dite de Yangambi mise au point lors de la réunion organisée en 1956 sous l'égide de la commission de coopération technique en Afrique au sud du Sahara, en :

- forêt claire (« *woodland* »),
- savane boisée (« *savanna woodland* »),
- savane arborée (« *tree savanna* »),
- savane arbustive (« *shrub savanna* »).

Lorsque la végétation vivace est remplacée par une végétation où les plantes annuelles abondent largement et dont la hauteur est généralement inférieure à 80 cm, on utilise le terme de steppe, d'où les dénominations :

- steppe boisée (très rare),
- steppe arborée (« *tree steppe* »),
- steppe arbustive (« *shrub steppe* »),
- steppe buissonnante (« *dwarf shrub steppe* »),
- steppe succulente (« *succulent steppe* »).

Cette classification rend bien compte des différentes formations de l'Afrique de l'ouest mais ne permet pas toujours de séparer les types intermédiaires. La réunion de Yangambi avait recommandé la préparation d'un atlas descriptif de ces types de végétation qui aurait comporté des diagrammes, schémas structuraux, photographies et inventaires floristiques. Malheureusement, cet atlas ne fut jamais réalisé, ce qui explique la difficulté à définir en particulier les faciès de transition qui sont nombreux dans les formations mixtes forestières et graminéennes.

Du point de vue répartition géographique :

— **les forêts claires** se rencontrent dans le domaine soudano-guinéen et guinéen (pluviométrie 1.100 à 1.500 mm). Elles ne sont en général pas en contact direct avec les forêts denses mais en sont séparées par une région de savanes plus ou moins arborées. Elles forment des flots épars dans les savanes boisées et arborées (alors qu'au sud de l'équateur elles constituent de vastes massifs forestiers). Elles sont essentiellement composées de légumineuses arborescentes culminant à 15/20 mètres. Les associations les plus répandues sont *Isoberlinia doka*, *Uapaca togoensis* et *Monetes* ou *Anogeissus* et *Boswellia* ;

— **les savanes boisées et arborées** se rencontrent dans le domaine soudanien (700 à 1.100 mm) et dans la zone de contact avec les forêts denses (1.400 à 1.600 mm). Ce

sont des formations herbeuses maintenues par les feux sans lesquels la végétation évoluerait vers des formations plus boisées ainsi que l'ont montré toutes les expériences de mise en défens. Divers auteurs en concluent donc que, dans l'ensemble, ce sont des formations secondaires issues d'une dégradation de groupements forestiers détruits par l'homme et les feux. Mais, même dans ce cas, l'ancienneté de l'action humaine et des feux permettent de penser que ces savanes sont très anciennes. La composition floristique et la richesse végétale de ces savanes boisées et arborées varient en fonction de la **pluviométrie du sol** et de l'**action anthropique** (au sens large : feux, animaux domestiques, cultures, cueillette). Dans la région considérée les caractéristiques sont au sud *Vitellaria paradoxa* et *Uapaca togoensis* et au nord *Combretum* et *Acacia*. Les essences les plus fréquentes sont : *Bombax costatum*, *Anogeissus leiocarpus*, *Pterocarpus erinaceus*, *Parkia biglobosa*, *Daniellia oliveri*, *Khaya senegalensis*, *Lophira lanceolata*, *Detarium senegalense*, etc. ;

— **les formations essentiellement arbustives** se rencontrent dans la zone sahéenne de 300 à 700 mm de pluies avec dans la partie sud quelques flots de steppes plus ou moins « boisées » mais elles se propagent également dans toute la zone soudanienne par suite de la dégradation permanente et accentuée de la végétation sous l'effet commun de l'action humaine (récolte de bois de feu, pâturage des animaux, feux) aggravée par les années successives de sécheresse. Ainsi d'anciennes savanes boisées connues de mémoire d'homme sont aujourd'hui transformées en maigres savanes ou steppes arbustives ou buissonnantes.

La dégradation des sols consécutive aux cultures et la réduction des temps de jachère conduit inexorablement à un appauvrissement de la végétation forestière dont la régénération est en outre freinée (voire même détruite) par l'action des feux et la dent du bétail.

Ainsi le phénomène d'appauvrissement de la strate ligneuse est quasi général dans tous ces pays sauf exception de zones peu habitées telles que le nord de la République Centrafricaine ou certains flots vides de population par suite de l'existence de certains foyers de maladies endémiques (bilharziose, onchocercose, tripanosomiase).

Le récent document édité par la F.A.O. et le P.N.U.E. dans le cadre du Projet d'évaluation des ressources forestières tropicales, « les ressources forestières de l'Afrique tropicale » (cf. document 50), indique les chiffres suivants de superficie :

SUPERFICIES FIN 1980
DES FORMATIONS MIXTES FORESTIÈRES ET GRAMINÉENNES

(en milliers d'ha)

Pays	NHO ₁	NHO _{2i}	NHO _{2r}	NHO ₂	NHO	nH	Jachères (NHO _a)
Haute-Volta	850	5.030	1.320	6.350	7.200	3.000	4.500
Mali	950	7.100	750	7.850	8.800	6.000	2.500
Niger	300	2.150	450	2.600	2.900	6.000	3.000
Sénégal	1.790	7.770	1.265	9.035	10.825	1.365	1.750
Tchad	2.500	7.200	3.300	10.500	13.000	9.750	800
S/Total	6.390	29.250	7.085	36.335	42.725	26.115	12.550
Guinée	2.850	5.750	—	5.750	8.600	1.300	1.300
Côte-d'Ivoire	1.800	2.430	1.150	3.580	5.380	60	6.930
Togo	150	1.230	—	1.230	1.380	2.265	1.200
Bénin	1.020	2.200	600	2.800	3.820	3.075	3.750
S/Total	5.820	11.610	1.750	13.360	19.180	6.700	13.180
Cameroun	2.700	4.800	200	5.000	7.700	9.500	1.200
R.C.A.	15.900	12.400	4.000	16.400	32.300	17.000	3.800
S/Total	18.600	17.200	4.200	21.400	40.000	26.500	5.000
Total	30.810	58.060	13.035	71.095	101.905	59.315	30.730

Source : Rapport F.A.O./P.N.U.E. d'Evaluation des ressources forestières tropicales.

Rappelons que :

— NHO₁ désigne les formations potentiellement productives d'une plus ou moins grande quantité de bois d'œuvre (les volumes à l'hectare considérés comme actuellement mobilisables comme bois d'œuvre variant de 1 à 4 m³/ha) ;

— NHO₂ désigne les formations non productives de bois d'œuvre ; soit pour des raisons physiques (état du terrain ou du peuplement) = NHO_{2i}, soit pour des raisons légales = NHO_{2r} ;

— nH désigne les formations essentiellement arbustives ;

— NHO_a désigne les jachères des formations NHO.

Ces chiffres appellent les commentaires suivants :

— A l'exception du Sénégal, du Togo et du Bénin pour lesquels des cartes récentes ont été établies à partir de l'interprétation des images obtenues à l'aide des enregistrements électromagnétiques effectués par le satellite Landsat d'observation des ressources terrestres, ces estimations de superficies sont très approximatives et surtout elles ne permettent pas de se faire une idée précise de l'importance réelle des surfaces couvertes par les différents types de peuplements : forêts claires, savanes

boisées, savanes arborées, savanes arbustives... Pour certains pays tels que le Niger il y a très certainement surestimation des superficies classées en NHO₁ (70 % de la superficie des forêts classées de ce pays ont été classées en NHO₁ alors que les récentes enquêtes du « Projet de planification et usage des forêts et des sols » indiquent que plus de 50 % du couvert ligneux de ces « forêts » ont disparu !). C'est vraisemblablement également le cas du Tchad et de la Guinée.

— L'estimation de la surface des jachères qui relève d'une approximation encore plus grande est très nettement sous-évaluée pour certains pays : la Guinée et le Tchad en particulier (au bénéfice des surfaces de NHO₁ et NHO₂).

— En ce qui concerne l'évolution actuelle de ces formations, on se reportera au document de la F.A.O. (cf. document 50) (paragraphe 2.11 et 2.12) qui décrit très clairement les processus qui conduisent à une dégradation à la fois qualitative et quantitative dont l'ampleur et la gravité ne sont pas suffisamment soulignées par les chiffres d'évolution des surfaces (tableau 7) car c'est l'ensemble des formations NHO qui se dégradent et non pas seulement les formations NHO₁. L'augmentation

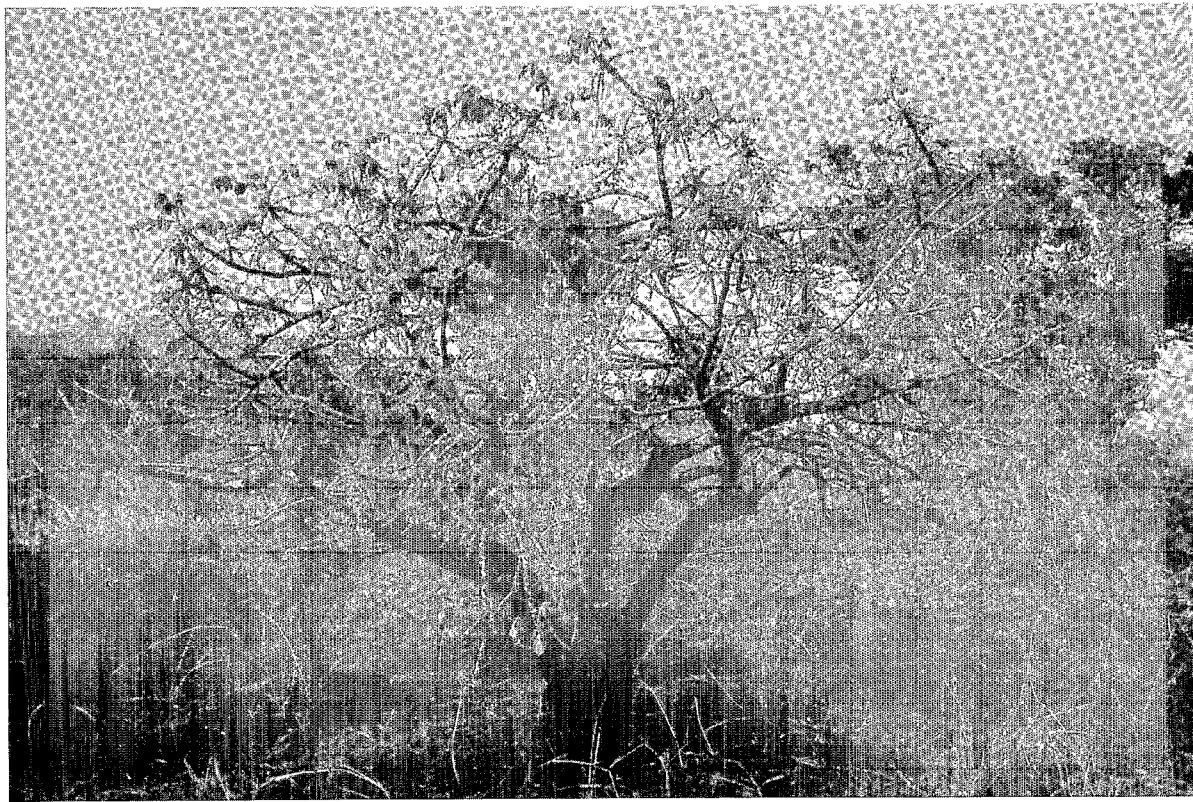


Photo Depommier.

Région Ouest — Cameroun — Pays Bamoun — Savane près du mont M'Bepit.

apparente des surfaces classées en NHO₂, masque la réalité de la dégradation des surfaces de savanes arborées et la **progressive disparition des arbres**. Quant aux superficies mises actuellement en « jachères » elles sont dans la majorité des cas soumises à un tel processus de destruction de la régénération naturelle par les feux, la dent des animaux et les prélèvements pour le bois de feu qu'on ne peut pas les considérer comme surfaces potentiellement boisées pour l'avenir. **En grande majorité, elles évoluent vers des formations arbustives et buissonnantes et la végétation arborée d'origine ne se reconstitue pas.**

Il est clair que les formations ligneuses ouvertes des « zones sèches » de l'Afrique tropicale septentrionale sont mal connues à la fois en ce qui concerne les superficies et la localisation précise des divers types de formations ainsi que des divers degrés de leur dégradation et

de la vitesse de ces processus de dégradation. De nombreux spécialistes forestiers estiment que la protection (la mise en « défens ») de superficies réparties sur l'ensemble du territoire de ces pays permettrait d'enrayer un phénomène qui pour l'instant paraît irréversible et semble mener à une réelle « désertification » au sens de « disparition de la couverture ligneuse ». Pour appuyer l'intérêt de ces actions, certains spécialistes avancent divers chiffres de productivité à l'hectare (bois tout venant) basés sur les quelques expériences concrètes connues.

L'objectif de cette étude est de faire le point sur ces connaissances dont l'intérêt dépasse celui de la lutte contre la désertification car il s'agit aussi et surtout de l'approvisionnement des populations en bois de feu, source essentielle d'énergie domestique et artisanale de ces pays (cf. document 54).

2. LES ÉTUDES EFFECTUÉES

CAMEROUN

Estimation du potentiel en bois de feu de deux blocs d'une superficie totale de 3.661 ha (Projet NE Bénoué) cf. documents 1, 2, 3, 4 et 5.

Cette étude a été effectuée en 1979 dans le cadre de l'opération d'aménagement de la région Nord-Ouest Bénoué. Ces deux blocs situés dans la région de Bibémi

(Est de Garoua) portaient une savane arborée anciennement cultivée et très dégradée par les feux. La pluviométrie moyenne annuelle de cette région est de 1.000 mm.

Les travaux ont consisté en l'exécution d'un sondage au taux de 2,5 % par bandes de 25 m de large disposées parallèlement à l'équidistance de 1.000 m.

Tous les ligneux ont été identifiés et comptabilisés par classes de hauteur de m en m jusqu'à 5 m et mesurés en circonférence pour les arbres de plus de 5 m de hauteur.

L'estimation des volumes a été effectuée à partir du cubage de 25 parcelles exploitées à blanc. Les arbres (classés en 3 catégories selon leur aptitude comme bois de feu) ont été débités en morceaux d'1 m et classés en deux catégories (gros bois et petit bois) selon que le diamètre au gros bout était ou non supérieur à 5 cm. A partir d'un enstérage (sur un échantillon), on a déterminé un coefficient d'empilage pour chacune de ces deux catégories.

Sept tarifs de cubage ont été calculés par régression, les paramètres explicatifs étant le nombre de tiges par classes de hauteur, la circonférence et la hauteur des

arbres de plus de 5 m. Les régressions trouvées étaient de mauvaise qualité générale car l'échantillon des parcelles (25) était insuffisant (il en eût fallu le double).

Néanmoins l'âge présumé de ces peuplements étant de 25 ans les productivités moyennes sont les suivantes :

$$\text{bloc 1} = 0,84 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{an} - \text{bloc 2} = 0,78 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{an}$$

Coupe expérimentale dans le massif de Ndouga en vue d'installer un parcellaire d'étude de l'évolution d'un peuplement de savane (cf. document 6).

Cette coupe a été effectuée en saison sèche 1979-1980 dans le massif forestier de Ndouga, situé entre Adoumi et Bibémi. 24 parcelles de 4 ha ont été exploitées à blanc. L'application des coefficients d'empilage calculés lors de l'étude précédente permet de calculer le volume extrait de chaque parcelle après enstérage. Celui-ci varie de 7,5 m³/ha à 21,5 m³/ha, la moyenne se situant à 12 m³/ha.

HAUTE-VOLTA

Etudes de productivité des savanes naturelles de parcelles délimitées portant un peuplement d'âge connu (cf. documents 8 à 17 et 19, 20).

Ces études menées par la station de recherche du C.T.F.T. depuis 1963 ont concerné deux zones géographiques différentes :

— la zone soudanienne du Sud de la Haute-Volta : forêts de Dinderesso et Toumousseni où la pluviométrie moyenne annuelle est de l'ordre de 1.200 mm ;

— la zone soudano-sahélienne du Nord de la Haute-Volta : forêts de Gonsé et Wayen où la pluviométrie moyenne annuelle est de 850 à 900 mm.

EN 1963 et 1964, il fut délimité 3 dispositifs comprenant chacun 7 parcelles de 0,5 ha exploitées à blanc et enstérées après inventaire complet de la végétation par espèces et catégories de diamètre. Les résultats de ces exploitations sont donnés dans le tableau ci-dessous.

EN 1978, deux nouvelles parcelles d'un ha furent délimitées et exploitées après inventaire et positionnement des arbres dans le but d'étudier la régénération du taillis

après coupe à blanc dans le cas d'une protection totale.

EN 1982, soit à l'âge de 4 ans, la végétation ligneuse fut inventoriée sans destruction, selon des méthodes assez semblables.

Deux catégories ont été distinguées :

— les « arbres », tiges ou brins de cépée claire assez gros pour être individualisés pour lesquels on a mesuré la hauteur totale et des circonférences tous les m, permettant ainsi de les cuber ;

— les « buissons », brins de cépée plus petits, subdivisés en « grands buissons » — hauteur supérieure à 1,30 m (ou 2 m) et « petits buissons » — hauteur inférieure à 1,30 m (ou 2 m). Les grands buissons ont été subdivisés en 6 ou 7 classes, en fonction du nombre de brins et de la circonférence moyenne des brins. A chacune de ces classes, on a attribué un volume moyen.

Les petits buissons ont été également subdivisés « à l'œil » en 3 ou 4 classes auxquelles un volume moyen a été attribué.

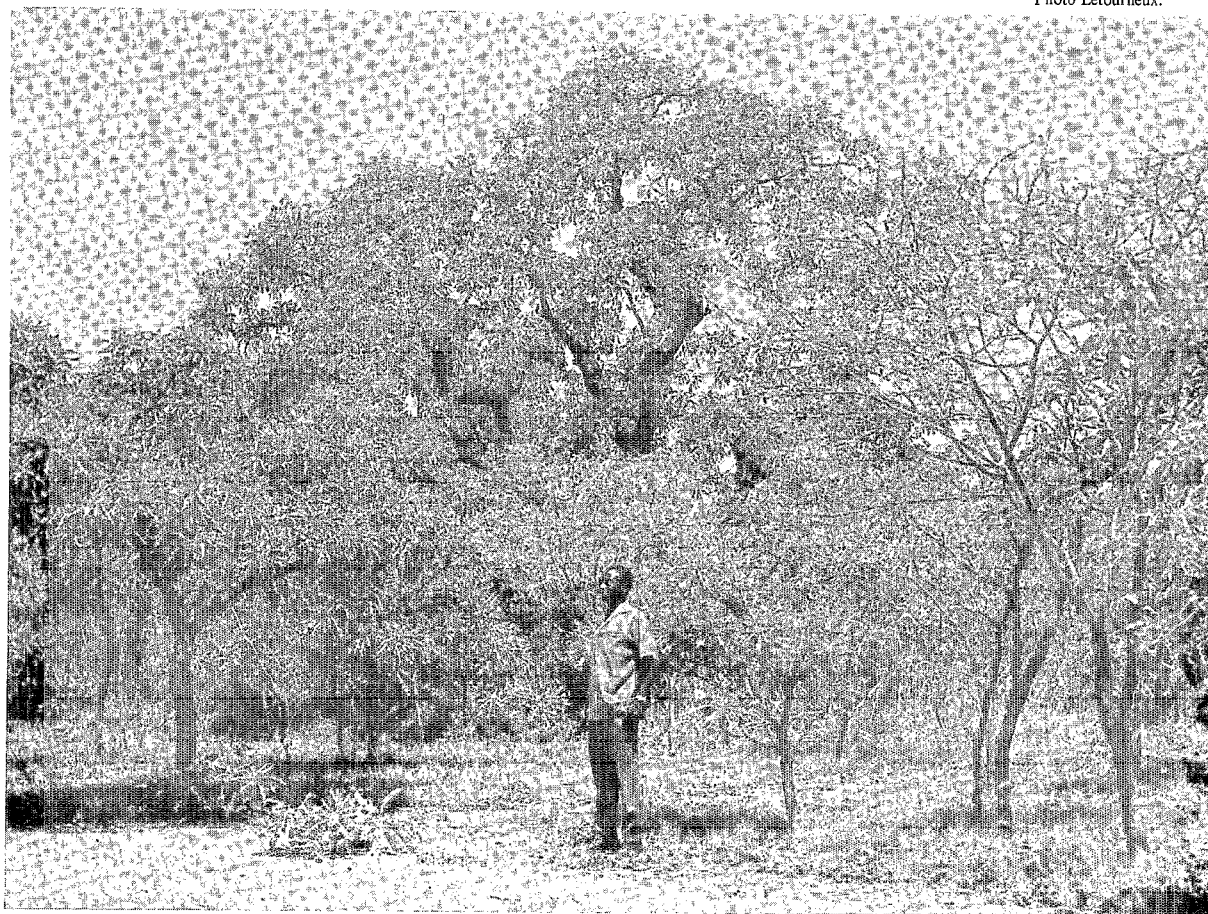
Les résultats de ces exploitations de 1978 et des inventaires de 1982 sont donnés p. 41.

Lieu	Age présumé du peuplement	Type de sol	Volume moyen à l'ha (en stères)	Productivité moyenne (stères/ha/an)	Productivité moyenne (m ³ /ha/an)
Dinderesso	23 ans	sableux à sablo-argileux profond	64,2	2,8	1,4
Toumousseni	25 ans	sableux à sablo-argileux profond	62,5	2,5	1,25
Gonsé	25 ans	plateau sur cuirasse à faible profondeur	52,5	2,1	1,05

Lieu	Gonsé		Wayen	
Pluviométrie annuelle	900 mm		850 mm	
Age du peuplement	25 ans	4 ans	35 ans	4 ans
Peuplement	savane boisée assez dense	recrû	savane arborée avec étage arbustif peu dense	recrû
Année d'intervention	1978	1982	1978	1982
Gros bois	26,37 st	 	29,84 st	
Petit bois	7,33 st	 	15,93 st	
Houppier	9,00 st	 	7,00 st	
Grumes	5,84 m ³	 	0,18 m ³	
Grumes	 	0,93 m ³	 	1,40 m ³
Grands buissons	 	4,00 m ³	 	2,67 m ³
Petits buissons	 	0,77 m ³	 	0,35 m ³
Total	27,19 m ³	5,70 m ³	26,57 m ³	4,40 m ³
Productivité moyenne ha/an	1,09	1,40 m ³	0,76	1,1 m ³

Savane boisée protégée des feux depuis 25 ans — Ouagadougou (Haute-Volta) — Pluviométrie 870 mm.

Photo Letourneux.



Les dispositifs mis en place avaient pour but d'étudier l'effet de la protection contre les feux et la pratique des feux précoces sur la productivité. Malheureusement, ces essais ne furent pas suivis et les parcelles furent soit défrichées pour y installer des reboisements, soit parcourues par les feux et fortement dégradées.

On constate une productivité inférieure de la parcelle de Wayen qui s'explique en 1978 par l'âge plus avancé du peuplement dont la croissance est très certainement ralentie. Les productivités estimées en 1982 à l'âge de 4 ans sont supérieures, ce qui n'est pas surprenant. La productivité estimée à Wayen à l'âge de 4 ans est également inférieure à celle de Gonsé. Ceci s'explique par le moins grand nombre de rejets à Wayen car le peuplement coupé en 1978 avait un étage arbustif peu dense (cf. document 19).

Etude théorique de la productivité moyenne des formations forestières de Haute-Volta (cf. document 18).

L'auteur de ce document a exploité :

1) 63 couples diamètre — âge recueillis par A. MARIAUX en 1964 et 1979 au Niger et en Haute-Volta (voir documents 8 et 42).

Dans une première étape, une régression linéaire a été établie entre la pluviométrie P de la station et l'accroissement moyen en diamètre I_d de chaque arbre.

Cette régression de formule :

$$(1) \quad I_d = 0,728 + 0,0059 P$$

possède un bon coefficient de corrélation ($r^2 = 0,89$).

Dans une seconde étape, les données ont été ajustées par une équation polynomiale de 3^e ordre :

$$(2) \quad D = -2,066 + 0,576 A + 0,012 A^2 - 0,0002 A^3$$

En reportant l'accroissement courant annuel correspondant au diamètre moyen des 63 observations, dans l'équation (1), l'auteur en a conclu que la courbe correspondant à l'équation (2) correspondait à l'isohyète 1.200 mm. Il en a déduit (en utilisant l'équation (1)) les courbes correspondant aux isohyètes 1.000 mm, 800 mm et 600 mm. D'où une loi de croissance moyenne des arbres en diamètre par isohyète de 200 en 200 mm de 600 à 1.200 mm.

2) Le tarif de cubage établi par le projet F.A.O. U.P.V./78/004 à partir de la mesure de 470 arbres abattus :

$$V = 0,11068 - 1,79050 D + 13,08245 D^2$$

qui, appliqué aux lois de croissance en diamètre a permis de calculer les accroissements courants en volume I_v d'un arbre « moyen » et les courbes correspondantes en fonction de la pluviométrie :

$$I_v = f(A) \text{ et } I_v = f(D)$$

3) Les inventaires réalisés par le projet F.A.O. dans trois types de peuplements :

— peuplement A : savane arbustive sous isohyète 600 mm,

— peuplement B : savane arborée sous isohyète 600 mm,

— peuplement C : savane arborée sous isohyète 1.200 mm.

En appliquant aux résultats de ces inventaires : effectifs par classe de diamètre, les accroissements $I_v = f(D)$ calculés précédemment, l'auteur a obtenu des estimations de l'accroissement moyen annuel en volume :

— peuplement A : 0,12 m³/ha/an,

— peuplement B : 0,36 m³/ha/an,

— peuplement C : 1,48 m³/ha/an,

et il en conclut, compte tenu du fait que l'ordre de grandeur de ces résultats est conforme aux chiffres couramment avancés, que les barèmes d'accroissement mis au point sont vraisemblables et fiables et qu'une méthode a ainsi été mise au point pour déterminer la productivité moyenne d'un peuplement.

Cette étude conduite selon une logique apparemment sans faille révèle cependant une très grave erreur de raisonnement qui en détruit totalement l'exactitude. Cette erreur consiste à « décider » que l'équation polynomiale $D = f(A)$ établie à partir de données provenant de zones de pluviométrie allant de 500 à 1.250 mm correspond à la pluviométrie 1.200 mm (!) simplement parce que le diamètre moyen de l'ensemble de ces observations correspond d'après cette équation à un âge où l'accroissement en diamètre est celui prévu par la régression $I_d = f(P)$ lorsque $P = 1.200$ mm ! Comme le dit l'auteur, « Pour le besoin de notre étude, nous admettons que l'ajustement moyen correspond le mieux à l'isohyète 1.200 mm ».

Nous avons appliqué aux résultats d'inventaire des parcelles de Gonsé et Dinderesso d'âge connu et exploitées et enstérées en 1963 les barèmes d'accroissement mis au point par cette étude. Les résultats ont été :

— parcelle de Gonsé : 2 m³/ha/an, au lieu des 1,05 m³/ha/an réellement mesurés et calculés,

— parcelle de Dinderesso : 3,46 m³/ha/an ! au lieu de 1,4 m³/ha/an et ceci en supposant un accroissement nul des brins de diamètre inférieur à 5 cm ! La « bonne vérification » faite sur les peuplements A, B et C inventoriés par la F.A.O. n'est qu'un heureux hasard !

Une autre importante critique qui peut être faite à cette étude est celle de définir une loi de **croissance moyenne** des arbres selon les isohyètes alors que les données utilisées (MARIAUX 1963 et 1979) montrent que pour une pluviométrie donnée les différences sont considérables entre espèces. Il semble en tenant compte de cette observation que les résultats sont biaisés en ce qui concerne les gros diamètres et que la croissance en diamètre diminue beaucoup plus tôt que ne l'indiquent les courbes établies.

Cette étude donc fort contestable met cependant en évidence trois points qui concordent avec les observations faites maintes fois par les forestiers de zone tropicale sèche :

1) La croissance individuelle des arbres diminue en général rapidement :

— après 15 cm de diamètre sous 600 mm,

— après 30 cm de diamètre sous 1.200 mm.

Forêt claire à Légumineuses (Isoberlinia, Parkia).
Monts Mandingues — Mali — Pluviométrie 1.050 mm.

Photo Bégué.

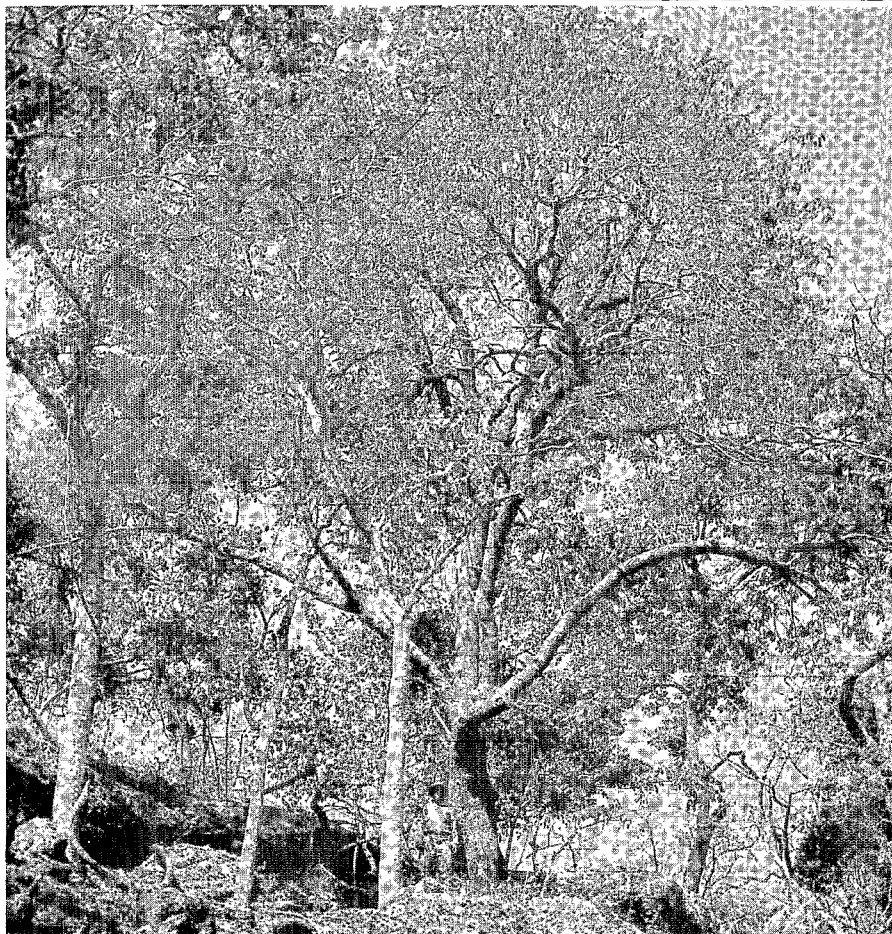
Ceci correspond à un âge d'environ 40 ans d'après l'étude mais pour de nombreuses espèces ce ralentissement débute très certainement avant 25 ans.

2) Cette croissance varie « en moyenne » de 1 à 3 selon que la pluviométrie passe de 600 à 1.200 mm.

3) La productivité d'un peuplement dépend de la pluviométrie et du type de formation considérée.

MALI

Inventaire de 10 blocs d'une surface totale de 470 ha (270 ha inventoriés à 100 % et 200 ha sondés au taux de 18 %) cf. document 22.



INVENTAIRES À 100 % (blocs I à IX)

Les blocs ont été divisés en carreaux de 50 m × 40 m, soit 20 ares. Pour chacun de ces carreaux on a mesuré toutes les tiges (isolées ou non entre le sol et 1,30 m) ayant un diamètre supérieur ou égal à 2,5 cm à 1,30 m du sol. Les tiges ont été botaniquement identifiées et répertoriées par classes de diamètre de 5 en 5 cm :

- classe 5 : 2,5 à 7,49 cm,
- classe 10 : 7,5 à 12,49 cm, etc.

Les résultats concernent les nombres de tiges et les surfaces terrières par catégories de diamètre et par essences ou groupes d'essences, pour chaque carreau de 20 ares, puis chaque groupe de 5 carreaux (1 hectare) et enfin pour chaque bloc. Les coefficients de variation entre carreaux de 20 ares et de 1 hectare relatifs aux surfaces terrières ont été parfois calculés.

INVENTAIRE PAR SONDAGE (TAUX DE 18 %) (BLOC X)

Le bloc inventorié est un rectangle de 2.000 m × 1.000 m, soit 200 hectares.

18 bandes de 20 m de large et 1.000 m de long ont été disposées parallèlement à l'équidistance de 100 m d'axe en axe. Dans chacune de ces bandes les mesures ont été identiques à celles effectuées dans les blocs inventoriés à 100 %.

RÉSULTATS PRINCIPAUX

Les coefficients de variation du paramètre surface terrière/ha, toutes essences confondues :

BLOCS	SURFACE TERRIÈRE/HA (m ²)
I	7,29
II	7,56
III	7,65
IV	4,65
V	6,52
VI	6,54
VII	5,83
VIII	6,68
IX	4,80
X	8,30

- placettes de 20 ares : 36 %, 36 %, 39 %, 25 %, 21 %.
- placettes de 1 hectare : 10 %, 11 %, 14 %, 16 %, 21 %.

Ceci conduit l'auteur du rapport de ces études (cf. document 22) à suggérer la réalisation d'inventaires par sondage au lieu des inventaires à 100 %. Les conclusions ne tiennent cependant pas compte de la nécessité de sonder un nombre d'unités d'échantillonnage suffisant pour

permettre l'utilisation des formules classiques d'estimation des marges d'incertitude statistique dues au sondage. En retenant par sécurité un coefficient de variation de 40 % pour des placettes de 20 ares, on retiendra que 64 placettes permettent l'estimation de la surface terrière moyenne à l'hectare d'un bloc de 100 hectares (taux de sondage 12,8 %) avec une marge d'incertitude de l'ordre de ± 10 % au seuil de probabilité 0,95.

Exploitation de 2 parcelles de 4 et 10 ha en forêt classée des Monts Mandigues (région de Bamako).

La première parcelle de 4 ha abandonnée par les cultures en 1946 a été exploitée en 1976 par placeaux de 10 ares. La seconde parcelle de 10 ha portant une végétation d'âge présumé 35 ans a été exploitée en 1977 par placeaux de 20 ares.

Dans les deux cas, la méthodologie a été identique :

- inventaire en plein de chaque placeau selon la méthode décrite ci-dessus,
- extraction et façonnage des bois morts,
- abattage rez-terre,
- ébranchage et tronçonnage en billons de 1 m,
- enstérage.

De plus en 1977, on a mesuré les hauteurs totales et en 1976 on a effectué des pesées.

Les résultats de ces exploitations sont les suivants :

Parcelle	Surface	Stères/ha	Production m ³ /ha/an
N° 1	4 ha	68	1
N° 2	10 ha	62,8	0,9

A l'aide des données provenant de chaque placeau, on a calculé les régressions suivantes :

- (1) $V = a + bD$,
- (2) $V = a + bG$,

$$\bullet (3) \frac{V}{G} = a + bD,$$

$$\bullet (4) V = a + bD + cG.$$

La régression (4) calculée pour la seconde parcelle a été jugée la meilleure, son coefficient de corrélation étant de 0,95 et la variance résiduelle étant très faible. L'équation de régression est :

$$V = 1,14 D + 9,986 G - 9,40$$

V = volume en m³

D = diamètre en cm

G = surface terrière en m² d'une parcelle de 20 ares.

Application des résultats de l'exploitation aux blocs inventoriés.

Cette application, faite pour les besoins de cet article, montre que parmi les différentes régressions permettant l'estimation du volume V en stères, c'est la régression : $V = a + bD + cG$ qui donne le meilleur résultat. Ceci nous a permis d'établir le tableau ci-dessous, fournissant à partir de l'estimation de la production à l'ha et de l'âge présumé du peuplement, une estimation de l'accroissement moyen depuis l'origine.

Études relatives à la hauteur des arbres (cf. document 22).

Ces études ont porté sur 6.511 tiges appartenant à 19 essences. Parmi les diverses courbes possibles $H = f(D)$, la régression :

$$H = a + bD + cD^2$$

a été retenue comme étant la plus représentative du nuage de points. Le coefficient de corrélation est de 0,93 (il n'est que de 0,88 pour la régression $H = a' + b'D$).

Les coefficients a , b et c ont pour valeur :

- $a = 50,49$,
- $b = 5,4224$,
- $c = -0,864$.

Blocs	Richesse du sol	Pluviométrie annuelle (mm)	Age présumé	Volume stères/ha	Productivité moyenne	
					Stères/ha/an	m ³ /ha/an
I	assez riche	1.050	26	76	2,92	1,46
II	assez riche	1.050	30	83	2,77	1,38
III	assez riche	1.050	25	72	2,88	1,44
IV	pauvre	1.050	37	52	1,41	0,70
V	moyenne	900	60	87	1,42	0,73
VI	assez riche	900	42	89	2,12	1,06
VII	moyenne	900	50	75	1,50	0,75
VIII	assez riche	900	42	78	1,86	0,93
IX	moyenne	750	32	37	1,16	0,58
X	moyenne	1.200	32	101	3,16	1,58



Savane boisée à Combrétacées après passage d'un incendie — Région de Diapaga (Haute Volta). Pluviométrie 800 mm. Photo Bégué.

Une régression de même type a été établie pour chacune des 19 essences.

Le sommet de la courbe correspondant à la valeur de la dérivée $dH = 0$ est atteint pour la valeur de D vérifiant :

$$2cD + b = 0$$

$$\text{soit : } D = \frac{-b}{2c}$$

$$\text{d'où : } D \approx 32$$

correspondant à une valeur de $H = 10,3$ m.

En réalité, on observe dans l'échantillon une poursuite de la croissance de H en fonction du diamètre au-delà de 32 cm (moyennes des observations : 11 m pour 36 cm de diamètre et 12,6 m pour 38 cm de diamètre). Cette courbe ne rend donc pas compte de la réalité au-delà de 32 cm de diamètre.

La faiblesse de l'échantillon au-delà de 26 cm de diamètre commande qu'on stoppe à ce niveau la validité de la régression. Il est intéressant de constater que :

— pour $D = 26$ cm, la valeur de la dérivée est

$dH = 1 = \text{tg } 45^\circ$,

— pour $D = 21 \text{ cm}$, $dH = 1,85 = \text{tg } 61^\circ 36'$,

— pour $D = 16 \text{ cm}$, $dH = 2,70 = \text{tg } 69^\circ 36'$,

soit un accroissement deux fois plus faible entre 21 et

26 cm qu'entre 16 et 21 cm. Il y a un net ralentissement de la croissance en hauteur à partir de 20 cm de diamètre, ce qui confirme les observations déjà faites en Haute-Volta.

NIGER

Coupe expérimentale en vue d'installer un parcellaire d'étude de l'évolution du peuplement ligneux (cf. documents 25-26).

Cette coupe a été effectuée par le C.T.F.T. en 1974 dans la forêt classée de N'Dounga, proche de Niamey sous 500/600 mm de pluviométrie moyenne annuelle. Une parcelle de 750 m \times 50 m fut délimitée et exploitée par placeaux de différentes tailles. Les résultats de ces exploitations ont malheureusement disparu des archives de l'I.N.R.A.N. de Niamey.

M. DELWAULLE rapporte dans un article paru dans la revue B.F.T. (cf. document 24) que la productivité fut estimée dans deux sous-parcelles à $0,35 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{an}$ et $0,5 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{an}$

En 1982, l'I.N.R.A.N. a l'intention d'effectuer un inventaire dans ces parcelles.

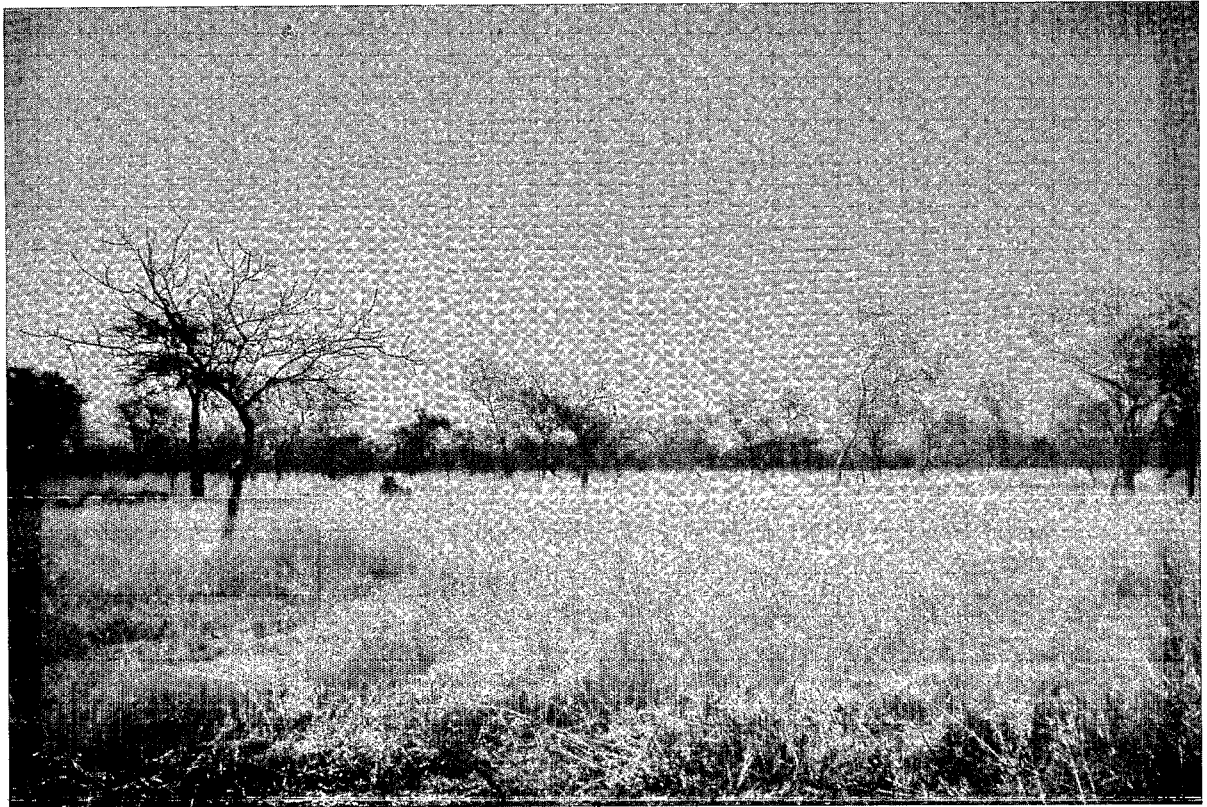
Estimation du poids de bois contenu dans un buisson de *Combretum* et de *Guiera* en fonction de divers paramètres dendrométriques.

Cette étude a été menée dans le cadre du Projet U.S. Aid de Planification et Usage des sols et forêts au Niger. 43 buissons de *Combretum micranthum* et 45 buissons de *Guiera senegalensis* ont été coupés, mesurés et pesés dans la forêt classée de Guesselbodi près de Niamey.

On a calculé une série de régressions liant le poids P de matière ligneuse à un paramètre dendrométrique θ pouvant être :

Cameroun — Sud de Maroua — Région de Laf.

Photo Depommier.



- la hauteur totale H_t ,
- le diamètre de la couronne D_c ,
- la surface de la couronne S_c ,
- le volume V .

Parmi ces régressions de la forme :

$$\text{Log } P = a_0 + a_1 \text{ Log } \theta$$

$$\text{Log } P = a_0 + a_1 \theta$$

$$P = a_0 + a_1 \theta$$

$$P = a_0 + a_1 \theta + a_2 \theta^2$$

on a retenu les 4 régressions suivantes (dont le modèle est différent suivant le paramètre θ utilisé) :

- (1) $P = a_1 S_c$;
- (2) $P = a_1 V$;
- (3) $P = a_1 H_t + a_2 H_t^2$;
- (4) $P = a_1 D_c + a_2 D_c^2$.

Les coefficients de corrélation de ces régressions sont de l'ordre de 0.70 et les variances résiduelles assez importantes, ce qui s'explique par la répartition très inégale des échantillons (beaucoup de petits buissons et peu de gros buissons). De nouvelles mesures ont donc été récemment effectuées pour améliorer la qualité de ces régressions.

RÉPUBLIQUE CENTRAFRICAINE

Etude d'une savane mise en défens (cf. doc. 27 à 32).

Cette parcelle de 13 ha située près de Bambari sous 1.550 mm de pluviométrie annuelle a été délimitée et protégée contre les feux depuis 1951.

Des coupes à blanc ont eu lieu en octobre 1960 et décembre 1978 sur deux bandes de 2.000 m².

Les résultats ont été les suivants.

	1951	1960	1978
Volume (m ³ /ha)	2	22	53,75
Age	?	9 ans	18 ans
Productivité ha/an	—	2,2	3

En 1978, on a réalisé sur l'ensemble du périmètre protégé un inventaire par sondage de lignes de parcelles de 1.250 m² (50 m × 25 m) espacées de 200 m d'axe en axe, les lignes étant équidistantes de 150 m.

Dans chaque parcelle, on a mesuré :

- les hauteurs de m en m ,
- les circonférences des arbres de plus de 5 m.

En outre, une coupe à blanc a été réalisée dans la moitié (625 m²) de chaque parcelle devant permettre l'établissement de tarifs de cubage de la forme :

$$V = a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + a_4 x_4 + a_5 x_5$$

où :

— V = volume (en stères) toutes essences de la sous-parcelle ;

- X_1 = effectif toutes essences, $1 < H \leq 2$ m ;
- X_2 = effectif toutes essences, $2 < H \leq 3$ m ;
- X_3 = effectif toutes essences, $3 < H \leq 4$ m ;
- X_4 = effectif toutes essences, $4 < H \leq 5$ m ;
- X_5 = effectif toutes essences, $5 \text{ m} < H$.

Le coefficient a_i est interprété comme le volume moyen d'un arbre de la classe de hauteur i .

A partir d'une analyse en composantes principales sur les 24 demi-parcelles, on a montré que les variables x_1 , x_2 , x_3 et x_4 peuvent être regroupées et que x_5 apporte

une information complémentaire jouant un rôle prépondérant dans la différenciation des parcelles, certaines ayant un x_5 fort et d'autres un x_5 faible (inférieur à x_4 et x_3).

Parmi les régressions obtenues, on a donc retenu les régressions suivantes :

$$\hat{V}_1 = -0,43 + 0,0047 \sum_1^4 x_i + 0,560 Z_5,$$

$$\hat{V}_2 = 4,90 + 0,042 \sum_1^4 x_i + 0,2501 Z_5,$$

$$\hat{V}_3 = 4,47 + 0,089 \sum_1^4 x_i + 0,3062 Z_5,$$

où :

- V_1 = volume des bois de diamètre inférieur à 3 cm,
- V_2 = volume des bois de diamètre supérieur à 3 cm,
- $V_3 = V_1 + V_2$,

et

— $Z_5 = x_5 C_5$ (C_5 = circonférence moyenne des arbres de hauteur supérieure à 5 m).

Ces régressions sont de bonne qualité (fort rapport de corrélation). Elles ont permis l'estimation moyenne des volumes à l'ha dans la parcelle protégée :

$$\hat{V}_1 = 2,86 \text{ stères},$$

$$\hat{V}_2 = 14,55 \text{ stères},$$

$$\hat{V}_3 = 17,41 \text{ stères},$$

ce qui, en appliquant les coefficients d'empilage déterminés au Cameroun (voir ci-dessus p. 40) donne les résultats suivants en m³.

$$\hat{V}_1 = 0,90 \text{ m}^3,$$

$$\hat{V}_2 = 6,25 \text{ m}^3,$$

$$\hat{V}_3 = 7,15 \text{ m}^3 \text{ sur } 1.250 \text{ m}^2,$$

soit 57,2 m³/ha.

La productivité moyenne annuelle a donc été de

$$\boxed{3,2 \text{ m}^3/\text{ha/an}}$$



Photo Malagnoux.

Sénégal — Forêt classée de Yassine — Pluviométrie 1 000 mm — Début de saison des pluies — Juin 1982.

SÉNÉGAL (cf. documents 33, 34, 35)

Les seuls renseignements sur la productivité des formations naturelles mixtes forestières et graminéennes du Sénégal proviennent du document « L'arbre dans le paysage sénégalais » de P. E. GIFFART. Ils sont basés sur les résultats des coupes effectuées :

1) Dans les forêts classées situées le long du chemin de fer Dakar-Bamako ; pluviométrie moyenne annuelle : 900 à 1.000 mm. Les premières coupes effectuées pendant la guerre avaient donné 50 à 80 stères/ha et 20 ans après, les peuplements reconstitués mais parcourus par les feux ont produit 40 à 60 stères ; soit 2 stères à 3 stères/ha/an, soit, en admettant un coefficient

d'empilage prudent de 0,40, une productivité moyenne annuelle de :

$0,8 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{an}$ à $1,2 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{an}$

2) Dans les zones sahéliennes (600 à 700 mm) où, après une première coupe de 40 à 50 stères/ha, on obtient seulement 10 à 15 stères/ha 25 ans plus tard (accroissement moyen annuel de 0,4 à 0,6 stères/ha/an) ; soit :

$0,16 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{an}$ à $0,24 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{an}$,

car les vieux arbres éliminés par la première coupe (*Acacia raddiana* en particulier) ne sont pas remplacés et le feu détruit les semis et anéantit la fructification.

TCHAD

Les seules estimations proviennent d'une étude de la F.A.O. (cf. document 36) qui, à la suite d'« enquêtes », estimait l'accroissement moyen annuel dans la région de N'djamena à :

— 4,0 $\text{m}^3/\text{ha}/\text{an}$ dans la steppe à *Acacia seyal* et *Acacia nilotica*,
 — 4,8 $\text{m}^3/\text{ha}/\text{an}$ dans la steppe dense à *Acacia nilotica*,

— 4,7 m³/ha/an dans les fourrés de terrasses inondées du Logone et du Chari à *Acacia seyal* et *Acacia sieberiana*.

Ces chiffres paraissent très élevés mais il s'agit de formations forestières classées en « formation dense » par la F.A.O. (cf. document 51).

Dans les formations de savane arborée soudano-guinéenne (pluviométrie annuelle variant de 1.000 à

1.200 mm), le document précité indique des rendements variant de 1,0 à 3,5 m³/ha/an ; ce dernier chiffre paraît également très élevé.

Il ne semble pas en conclusion qu'on puisse accorder une grande confiance à ces chiffres qui ne semblent pas basés sur des analyses et études très précises et bien contrôlées.

TOGO

Dans le cadre du « Projet d'aménagement de la vallée de la Namiélé », une mission d'identification des actions forestières à envisager a été effectuée en 1979 par J. P. GOUDET. Dans son rapport de mission (cf. document 37), on relève les chiffres suivants pour la savane boisée

de la région de Mango (pluviométrie moyenne annuelle 1.100 mm) :

— volume sur pied : 40 stères,

— productivité moyenne annuelle : 3 stères/ha/an, soit :

1,5 m³/ha/an .

3. SYNTHÈSE DES RÉSULTATS OBTENUS

TECHNIQUES UTILISÉES.

Les différentes études analysées dans le paragraphe précédent peuvent se classer en deux grandes catégories :

a) **Les études menées à partir de la coupe à blanc d'une parcelle d'âge connu avec plus ou moins de précision.**

L'enstérage des produits, effectué parfois par espèces, le plus souvent toutes espèces mélangées, permet d'évaluer des volumes « *petits bois* » et « *gros bois* » ou de distinguer plusieurs catégories de bois selon leur aptitude comme bois de feu. En fin de compte, la productivité moyenne annuelle i de la parcelle est calculée à partir de l'âge présumé du peuplement :

$$i = \frac{V}{A}$$

— V = volume enstéré (éventuellement corrigé pour tenir compte de l'existence d'un volume préexistant d'arbre à l'origine du peuplement),

— A = âge présumé.

Pour certaines parcelles, l'histoire du peuplement est bien connue (feux éventuels, exploitations, etc.). Pour d'autres, une grande méconnaissance à cet égard rend peu significatifs les chiffres obtenus. Mais dans bien des cas, on ne dispose pas d'autres données.

Bambari (R.C.A.) - Etude des formations naturelles. De haut en bas :

— Aspect des formations étudiées.

— Enstérage.

Photos Goudet.



b) Les études menées à partir d'inventaires (totaux ou par sondage) permettant d'estimer des effectifs d'arbres par classe de diamètre et/ou hauteur, puis d'une étude sur un échantillon de petits placeaux exploités à blanc permettant l'établissement d'équations de régression exprimant le volume (de chaque catégorie envisagée) en fonction des effectifs par classe et/ou des paramètres dendrométriques classiques : circonférence, hauteur, surface terrière.

En fin de compte, on obtient des estimations du volume et (si l'on peut attribuer un âge approximatif au bloc inventorié) de la productivité moyenne annuelle depuis l'origine.

Notons que ce deuxième type d'étude a le désavantage d'utiliser un volume estimé et non un volume réel mais offre l'avantage de calculer une productivité moyenne sur une superficie relativement grande et spatialement répartie.

RÉSULTATS OBTENUS.

Le tableau ci-dessous récapitule l'ensemble des résultats obtenus par les différentes études passées en revue dans le chapitre 2. On a noté pour chaque résultat, la pluviométrie moyenne annuelle de la station, l'âge présumé du peuplement lors de l'étude, la « qualité » de la station déterminée soit en fonction de la physionomie du peuplement, soit en fonction du sol, et enfin l'aspect « protection » du peuplement au cours de son histoire (protection contre les feux, les animaux, les exploitations...). La fiabilité du résultat a été notée de 1 = résultat fiable à 3 = résultat très peu fiable.

La visualisation de ces données sur le plan de coordonnées rectangulaires : pluviométrie en abscisse, productivité moyenne en ordonnée, montre l'existence d'une forte liaison entre ces deux paramètres.

Nous avons donc calculé, à partir des données de fiabilité 1 et 2, des régressions $i = f(P)$ avec :

— i = productivité en $m^3/ha/an$,

— P = pluviométrie moyenne annuelle en mm,

de la forme :

$$i = a + bP + cP^2 + dP^3.$$

Parmi ces régressions, c'est la forme $i = a + cP^2$ qui

TABLEAU RÉCAPITULATIF DES RÉSULTATS D'ÉTUDES

Pays	Lieu	Pluviométrie (mm)	Age (années)	Productivité ($m^3/ha/an$)	Station	Protection	Fiabilité
CAMEROUN	NE Bénoué	900	25 ?	0,84	médiocre	non	3
		900	25 ?	0,78	médiocre	non	3
CONGO	Brazzaville	1.400	20	1,80	moyenne	oui	3
HAUTE-VOLTA	Dinderesso	1.200	23	1,40	moyenne	non	2
	Toumousseni	1.200	25	1,25	moyenne	non	2
	Gonsé	900	25	1,05	médiocre	non	2
	Gonsé	900	25	1,09	moyenne	non	1
	Gonsé	900	4	1,40	moyenne	oui	1
	Wayen	850	35	0,76	médiocre	non	1
	Wayen	850	4	1,10	médiocre	oui	1
	MALI	Monts Mandingues	1.050	26	1,46	assez riche	non
Monts Mandingues		1.050	30	1,38	assez riche	non	2
Monts Mandingues		1.050	25	1,44	assez riche	non	2
Monts Mandingues		1.050	37	0,70	pauvre	non	2
Forêt de la Faya		900	60	0,73	médiocre	non	2
Forêt de la Faya		900	42	1,06	assez riche	non	2
Forêt de la Faya		900	50	0,75	moyenne	non	2
Forêt de la Haya		900	42	0,93	assez riche	non	2
Dioforongo		750	32	0,58	moyenne	non	2
Bougouni		1.200	32	1,58	moyenne	non	2
NIGER		N'donga	600	?	0,35	moyenne	non
	N'donga	600	?	0,50	moyenne	non	2
R.C.A.	Bambari	1.550	9	2,20	assez riche	oui	1
		1.550	9	3,00	assez riche	oui	1
		1.550	18	3,20	assez riche	oui	1
SÉNÉGAL	Forêts du rail	900/1.000	20	0,80 à 1,20	?	non	3
		600/700	25	0,16 à 0,24	?	non	3
TCHAD	N'djaména	1.000 à 1.200	?	4,00	?	non	3
			?	4,80	?	non	3
			?	4,70	?	non	3
			?	1,00 à 3,50	?	non	3
TOGO	Mango	1.100	13	1,50	?	non	3

apparaît la meilleure avec un coefficient de corrélation multiple $R = 0,91$, d'où $R^2 = 0,83$; l'écart-type des résidus est égal à 0,069.

Et la visualisation des résidus montre l'absence de biais car ceux-ci n'ont pas tendance à varier systématiquement avec la pluviométrie P .

L'équation de régression obtenue est :

$$i_0 = 0,051\ 29 + 1,081\ 71\ P^2 \quad (1)$$

avec :

- i_0 en $m^3/ha/an$,
- P en mètres de pluie/an.

Les limites de validité de cette équation sont 500 et 1.600 mm de pluie. En dessous et au-dessus de ces valeurs, les estimations obtenues sont en effet trop fortes. En particulier, il paraît évident que la productivité tombe à pratiquement zéro pour une pluviométrie inférieure à 200 mm.

On peut considérer cette équation (1) comme une représentation acceptable de la **productivité potentielle de la formation ligneuse qui se développe sous une pluviométrie donnée sans protection particulière** contre les feux et les animaux. Sous une même pluviométrie, on peut rencontrer des formes de végétation dégradées dont la productivité sera inférieure à celle indiquée par l'équation (1).

Exemple : sous 1.200 mm de pluie, se développe normalement une savane boisée dont la productivité peut être estimée en moyenne à :

$$i_0 = 0,051\ 29 + 1,081\ 71 \times 1,2^2 = 1,61\ m^3/ha/an.$$

Sous cette même pluviométrie, on pourra rencontrer des savanes arborées de productivité $1\ m^3/ha/an$ et des savanes arbustives de productivité inférieure à $0,5\ m^3/ha/an$.

Pour tenir compte de la physionomie de la végétation (et de son importance), MOREL (cf. document 22) propose sans la justifier la relation :

$$V = 10\ P \times G$$

avec :

- V = volume sur pied en stères,
- P = pluviométrie en mètres,
- G = surface terrière en m^2 .

Connaissant l'âge A de la parcelle, on peut en déduire :

$$i = \frac{V}{A} = 10\ P \times G \times \frac{1}{A}$$

Nous avons appliqué cette formule aux parcelles diverses étudiées dont nous connaissions la surface terrière et les résultats ont été généralement bons dans la mesure où l'âge de la parcelle n'est pas trop élevé. En effet, pour les parcelles MALI, on obtient les chiffres indiqués dans le tableau ci-contre.

Les mauvaises estimations sont soulignées. Elles correspondent à des parcelles d'âge supérieur à 40 ans.

Il serait intéressant pour les études futures de rechercher des relations de ce type faisant intervenir la pluviométrie et divers paramètres dendrométriques (surface

Bloc	V mesure en stère	V estimé par (2)	Age
I	76	76,5	26
II	83	79,4	30
III	72	80,3	25
IV	52	48,8	37
V	87	<u>58,7</u>	60
VI	89	<u>58,8</u>	42
VII	75	<u>52,4</u>	50
VIII	78	<u>60,1</u>	42
IX	37	36,0	32
X	101	99,6	32

terrière, hauteur moyenne, distribution des diamètres, etc...).

Pour revenir à l'équation (1), nous pouvons l'utiliser pour avoir une estimation des productivités qu'il est potentiellement possible d'obtenir sous une pluviométrie donnée lorsque des actions de protection et mise en défens contre les feux, les troupeaux et les exploitations de bois sont engagées. Les expérimentations menées dans le passé (R. C. A., Haute-Volta, Côte-d'Ivoire, Mali) ont prouvé l'effet positif de la protection contre les feux et contre les animaux sur la végétation ligneuse des formations mixtes forestières et graminéennes. Néanmoins, nous ne pensons pas que la productivité ainsi obtenue soit considérablement supérieure à la productivité i_0 que nous avons appelée « productivité potentielle sans protection ». La pluviométrie d'une part et la pauvreté chimique et organique des sols d'autre part limitent fortement toute augmentation de cette productivité i_0 qui témoigne déjà d'un peuplement peu dégradé. On retiendra donc une augmentation de 25 % par rapport à la productivité i_0 d'où :

$$i_{\max} = 1,25\ i_0 \quad (2)$$

Les estimations obtenues à l'aide de cette équation (2) nous semblent représenter des maximums. Toutes les données connues se trouvent au-dessous de ces valeurs, sauf les données de Haute-Volta qui concernent des parcelles de 4 ans donc à un âge où l'accroissement moyen annuel est le plus important.

Enfin, pour compléter l'ensemble des graphes $i = f(P)$, nous porterons la courbe

$$i_{\min} = 0,25\ P^2 \quad (3)$$

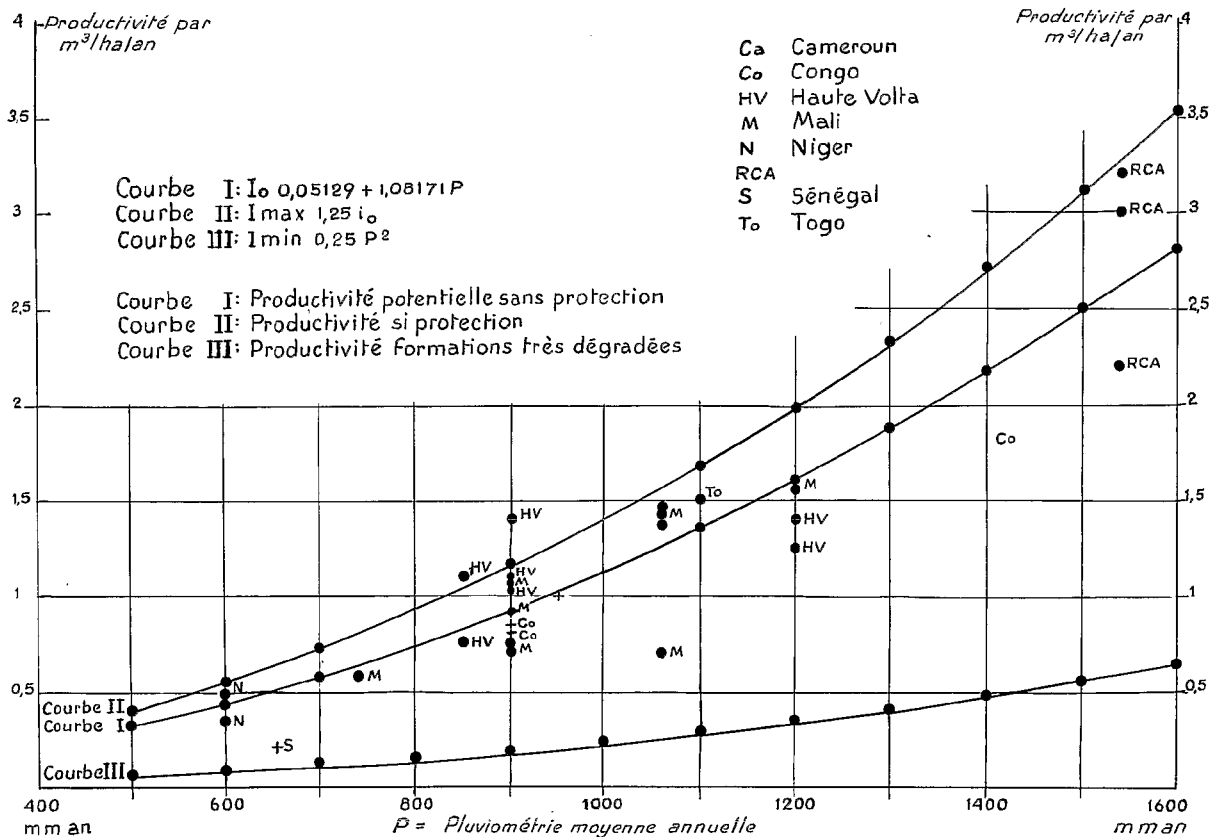
que nous considérons comme la courbe des valeurs minimales au-dessous de laquelle l'état de dégradation des formations est tel qu'on ne peut espérer les améliorer même par de rigoureuses mesures de protection.

Pluviométrie P (mm)	Productivité ($m^3/ha/an$)		
	i_{max}	i_0	i_{min}
500	0,40	0,32	0,06
600	0,55	0,44	0,09
700	0,73	0,58	0,12
800	0,93	0,74	0,16
900	1,16	0,93	0,20
1.000	1,41	1,13	0,25
1.100	1,70	1,36	0,30
1.200	2,01	1,61	0,36
1.300	2,33	1,88	0,42
1.400	2,71	2,17	0,49
1.500	3,11	2,49	0,56
1.600	3,53	2,82	0,64

Le tableau ci-contre indique les productivités i_0 , i_{max} et i_{min} obtenues en fonction de la pluviométrie à partir des équations (1), (2) et (3).

Les trois courbes ci-dessous sont la représentation graphique des trois équations (1), (2) et (3), la productivité i en $m^3/ha/an$ étant portée en ordonnées et la pluviométrie P en mm étant portée en abscisses.

Pour une pluviométrie donnée, tous les points situés entre les deux courbes (I) $i_0 = f(P)$ et (II) $i_{min} = f(P)$ représentent les productivités des formations ligneuses naturelles en fonction de leur physionomie (savanes ou steppes buissonnantes, arborées ou boisées) laquelle est liée aux conditions édaphiques et anthropiques de leur situation. Il ressort clairement de ce graphe que la pluviométrie est essentiellement un facteur limitant et ne peut suffire à estimer ou prévoir la productivité d'une formation ligneuse mixte forestière et graminéenne. Son état physiologique (dimension, âge, répartition et nombre des arbres et arbustes) est essentiel ainsi que l'état du sol.



4. RECOMMANDATIONS POUR LES FUTURES ÉTUDES D'ESTIMATION DES VOLUMES ET DE LA PRODUCTIVITÉ

ESTIMATION DES VOLUMES, INVENTAIRES

Utilisation de la télédétection.

Les études passées en revue au chapitre 2 ne mentionnent pas l'utilisation des techniques de la télédétection : photographies aériennes classiques à axe vertical ou images satellites. Cependant, celles-ci constituent la base indispensable préalable à toute étude d'inventaire de formation mixte forestière et graminéenne.

On peut distinguer trois niveaux d'utilisation de ces techniques :

1) NIVEAU NATIONAL : utilisation de l'imagerie satellite pour réaliser des cartes à l'échelle du 1/500 000 visualisant les divers types physiologiques de la végétation forestière.

Ce type de carte a été réalisé récemment dans les pays suivants :

- Sénégal
1980 ; C.T.F.T.
- Haute-Volta
1981 ; F.A.O. carte non terminée
- Guinée
1980 ; C.T.F.T./F.A.O. carte non publiée
- Togo
1978 ; F.A.O.
- Benin
1978 ; C.T.F.T./F.A.O.
- Mali
1980 ; U.S.aid. (partie sud).

Ce travail reste donc à mener pour les autres pays. Des actions sont en cours au Cameroun (CENADEFOR), au Niger (Projet U.S.AID. de Planification et usage des sols et des forêts).

2) NIVEAU RÉGIONAL : utilisation des photographies aériennes classiques (en combinaison éventuelle avec l'utilisation d'images satellites) pour établir des cartes forestières à des échelles allant du 1/50.000 au 1/100.000^e.

Ce type d'action a été réalisé au Mali depuis 1976 dans le cadre de l'O.A.P.F. (Opération d'Aménagement et Production Forestière) et 17 coupures au 1/50.000 ont été éditées à partir de l'interprétation de photographies aériennes récentes.

3) NIVEAU LOCAL : utilisation de photographies aériennes à grande échelle, sous forme d'échantillon constituant la première étape de réalisation d'inventaires basés sur le principe du double échantillonnage.

Cette action est en cours en Haute-Volta (cf. document 43) et un projet d'inventaire des ressources ligneuses du Mali actuellement à l'étude devra faire appel à cette technique (cf. document 23).

Pour chacun de ces niveaux d'action, les techniques sont connues et ont été décrites dans différents rapports ou notes techniques.

Nous soulignerons cependant :

— la difficulté (conduisant souvent à une impossibilité) d'identifier sur images satellites un grand nombre de types physiologiques de savane en fonction du couvert végétal (de sa densité et de sa hauteur) ; les radiations réfléchies moyennes de chaque pixel sont en effet une combinaison des réflectances du sol et de la végétation et, concernant cette dernière, la réflectance moyenne dépend étroitement du mode de répartition de la végétation sur le pixel : uniforme ou par tache ; ceci complique considérablement l'interprétation ;

— la date conseillée de prise de vue aérienne est la fin de la saison des pluies (atmosphère claire, végétation ligneuse bien visible) malgré l'inconvénient d'une observation difficile de la végétation des petits arbres et arbustes masqués par le couvert des arbres dominants ;

— peu d'études ont été faites sur la taille des unités d'échantillonnage optimales. On recommande des unités d'échantillonnage de la taille d'un hectare sur photographie aérienne, ceci devant permettre la mise en place sur le terrain d'un sous-échantillon constitué d'une grappe de quatre à cinq placeaux de 0,1 ou 0,125 ha.

On se référera aux propositions contenues dans la note de A. B. TEMU et M. S. PHILIP « *Sampling woodland for fuelwood* » (cf. document 52) et à la note de Kersten F. PANZER et Bruno RHODY « *Applicability of Large-Scale aerial photography to the inventory of natural Resources in the Sahel of Upper Volta* » (cf. document 43).

Choix d'une méthode d'échantillonnage.

Ceci dépendra essentiellement de la taille de la population à sonder :

a) Si l'inventaire est à l'échelon de vastes superficies (supérieures à 10.000 ha) on utilisera si possible le double échantillonnage et dans tous les cas un sondage par grappe (« *cluster sampling* ») plus apte à rendre compte de l'hétérogénéité des formations étudiées. De nombreuses études restent à mener (sous forme d'opérations pilotes) pour déterminer :

— les tailles optimales à donner aux placeaux constituant chaque grappe,

— la taille des grappes (nombre de placeaux),

— les coûts d'inventaire selon la forme des grappes.

b) Si l'inventaire concerne un bloc de superficie inférieure à 10.000 ha, on utilisera un sondage systématique du type de celui employé dans les études du Cameroun (cf. document 5).

L'échantillon sera constitué de parcelles de 1.250 m² alignées sur des layons parallèles et équidistants. Le seul problème qui se pose est celui de la taille de l'échantillon :

L'extrême variabilité des paramètres dendrométriques mesurés ou estimés : nombre de tiges, diamètre moyen, hauteur, volume sur pied, etc. conduit à recommander la mise en œuvre de sondages pilotes destinés à obtenir dans une région à sonder et pour une strate la plus homogène possible identifiée sur photo, des estimations de la moyenne et de la variance de la variable aléatoire recherchée (volume à l'hectare en général). On conduira ces études selon la méthodologie employée en République Centrafricaine pour les études menées en 1979 sur le périmètre protégé près de Bambari (cf. document 32).

A partir de la connaissance des volumes vrais y_i (mesurés après coupe à blanc), de leurs estimations \hat{y}_i (obtenues par application de formules de régression faisant intervenir le nombre de tiges par classe de hauteur et/ou diamètre et les volumes unitaires moyens de ces classes), du coefficient de corrélation multiple R mesurant la corrélation entre y_i et \hat{y}_i et du rapport de corrélation R' qui représente le pourcentage de la variance « expliquée » par la régression, on peut déterminer la taille de l'échantillon nécessaire pour obtenir une précision donnée. En effet, si n est le nombre de parcelles constituant l'échantillon et f le taux de sondage, on sait que (dans le cas d'un tirage au hasard) la variance de l'estimateur de la moyenne est estimée par :

$$\frac{\hat{y}}{n}(1-f)$$

avec :

$$\hat{y} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$$

et :

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i.$$

Ici les y_i sont inconnues et remplacées par leurs estimations \hat{y}_i . Si l'on note :

$$\hat{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \hat{y}_i$$

et :

$$\hat{y}_R = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \hat{y})^2$$

on a approximativement :

$$\hat{y}_R = R' \hat{y}$$

car :

$$\text{var } \hat{y} = R' \text{ var } y$$

et l'on peut prendre pour estimation de la variance de la moyenne :

$$\frac{\hat{y}_R}{R' n} (1-f).$$

Ce résultat n'a pas un fondement théorique très solide mais devrait cependant permettre des évaluations rapides et faciles.

Exemple (en utilisant les résultats du sondage R.C.A. précité) :

Si l'on veut faire un sondage dans un bloc de 30 ha et estimer le volume total V_3 à 10 % près, on sait que :

- variance $V_3 = 27,93 \approx 28$
- moyenne $\bar{V}_3 = 17,41 \approx 17,5$.

La parcelle de sondage étant de 1.250 m², il y a :

$$\frac{300.000}{1.250} = 240 \text{ parcelles possibles.}$$

Si \hat{y} est la valeur moyenne pour une parcelle, la production globale Σ_D est estimée par $N\hat{y}$ et l'on a :

$$N\hat{y} - 2N \sqrt{\frac{\hat{y}}{n}(1-f)} < \Sigma_D < N\hat{y} + 2N \sqrt{\frac{\hat{y}}{n}(1-f)}$$

avec :

$$\gamma = \text{var } V_3 = 28;$$

$$N = 240;$$

$$f = \frac{n}{N}.$$

Si l'on pose :

$$2N \sqrt{\frac{\hat{y}}{n}(1-f)} = (10\%) N\hat{y} = 0,1 N\hat{y}$$

on a :

$$4 \frac{28}{n} \left(1 - \frac{n}{240}\right) = (0,1 \times 17,5)^2$$

d'où :

$$n \approx 32$$

Le taux de sondage f utilisé est de 13 % avec des parcelles - échantillon de 1.250 m².

On peut ensuite effectuer le sondage de 32 parcelles, utiliser les résultats de cette enquête (nouveaux estimateurs \hat{V}_3 et variance de V_3 , $V_3 = \hat{y}_R$ pour recalculer la précision obtenue.

Si le résultat n'est pas satisfaisant, on peut alors recalculer la taille de l'échantillon en fonction de ces nouvelles estimations \hat{y} et \hat{y}_R et déterminer le nombre de parcelles à enquêter en plus.

Paramètres à mesurer.

Ceux-ci dépendront de la nature de la végétation et de son développement :

— lorsque l'essentiel du peuplement est constitué de sujets de diamètre supérieur ou égal à 5 cm, le D.B.H. mesuré à 1,30 m est le paramètre essentiel qu'il convient de mesurer (au compas ou à l'aide d'un ruban = circonférence). On peut alors, à partir des effectifs par classe de grosseur, calculer la surface terrière par essence, groupe d'essences ou toutes essences ;

— lorsque l'essentiel du peuplement est constitué d'arbustes et de buissons dont les brins ont en général moins de 5 cm de diamètre, la hauteur, le nombre de brins par cépée, le développement spatial des buissons

(diamètre de la couronne feuillue) sont les paramètres de base à mesurer ;

— lorsque le peuplement est mixte, on peut alors subdiviser la population en deux sous-populations pour lesquelles les paramètres mesurés seront différents. Cette solution nous paraît préférable à l'adoption d'un système unique qui conduit obligatoirement à des mesures ou des estimations imprécises (par exemple, classement « à l'œil » des brins de diamètre inférieur ou égal à 5 cm en deux ou trois classes de grosseur).

Estimation des volumes.

a) Deux techniques sont possibles : estimation sans destruction de la végétation et estimation à partir d'un échantillon de placeaux dans lesquels le peuplement est coupé à blanc. Cette dernière technique est bien sûr coûteuse mais elle seule peut effectivement rendre compte de la quantité réelle des divers produits (bois d'œuvre, perches, bois de feu) qu'il est possible d'obtenir. Elle doit être *obligatoirement utilisée* dans les inventaires préalables à l'aménagement ou à l'exploitation de « forêts » ou « portions de forêts ». Lorsqu'il s'agit d'inventaires au niveau régional ou national à but essentiel de planification (de l'usage des sols et des ressources ligneuses), on est tenté d'utiliser des méthodes dendrométriques non destructives mais il ne nous paraît guère possible d'obtenir des estimations fiables et sans biais sans réaliser l'abattage d'un sous-échantillon des arbres et buissons mesurés en vue de l'estimation des volumes. En particulier, si la mesure du volume fût d'un arbre sur pied ne pose aucun problème, celle de son houppier ne peut être réalisée que sur arbre abattu (cf. document 47). Les techniques de décomposition visuelle des arbres et de mesure des divers éléments (cf. E. STOLA et J. DAVID : « Preliminary pinon-juniper volume tables » — U.S.D.I. Bureau of Land management Resource Inventory Note 18) nous semblent extrêmement contestables et non justifiées dans le cas des arbres de formations de zones sèches qui n'ont pas un très grand développement et dont l'abattage ne pose généralement pas de problème (à l'exception de quelques *Bombax*, *Khaya senegalensis*, *Pterocarpus erinaceus* et *Chlorophora excelsa*).

b) Ces mesures de volumes doivent servir à établir par calcul de régression des formules d'estimation des volumes à partir des paramètres dendrométriques mesurés lors des inventaires.

D'après les différentes études effectuées, il semble que deux types de régression soient particulièrement efficaces :

$$V = f(x_i) = a_1 x_1 + \dots + a_n x_n,$$

$$V = f(D, G),$$

avec :

— x_i = effectif des arbres appartenant à la classe i de hauteur et/ou de diamètre et/ou d'extension de la cime, les coefficients a_i étant interprétés comme le volume moyen d'un arbre de classe i .

— D = diamètre de l'arbre de surface terrière moyenne,

— G = surface terrière.

Le choix des régressions à retenir doit résulter d'une analyse approfondie de la qualité de la régression en traçant la courbe ajustée et le nuage de points et en calculant les résidus de la régression afin de les visualiser sur un graphique (cf. document 47).

Il est important de rappeler l'absolue nécessité de calculer les régressions à partir d'un nombre suffisant de données. Dans le cas de parcelles exploitées à blanc, un échantillon minimum de 50 parcelles est nécessaire. Dans le cas d'individus mesurés, un échantillon d'une centaine d'arbres est nécessaire.

c) **Unités de mesure** : le stère comprend du bois et de l'air, la tonne représente du bois et de l'eau. Le mètre cube seul mesure un volume réel de bois. C'est donc cette dernière unité qui doit en fin de compte être utilisée. Cependant, l'hétérogénéité des formes et des dimensions rend souvent impossible la mesure directe des volumes réels. Il est donc nécessaire de passer par l'intermédiaire des mesures en stère et/ou en poids.

Pour ce faire, il faut :

i) soit calculer le volume contenu dans un stère :

$$V = \frac{\pi}{4} L \sum_{i=1}^n D_i^2$$

avec :

— D_i = diamètre du billon i ,

— n = nombre de billons dans un stère,

en calculant la valeur du coefficient d'empilage :

$$e = \frac{\pi}{4} \sum_{i=1}^n D_i^2 = \frac{\pi}{4} n D^2$$

avec :

— D = diamètre quadratique moyen des billons

$$= \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n D_i^2}}{n}$$

Les études effectuées (cf. documents 5 et 32) montrent l'intérêt de calculer des coefficients d'empilage par catégorie de grosseur des bois (deux ou trois catégories) car il varie considérablement en fonction du diamètre des brins (de 0,25 pour des diamètres inférieurs à 5 cm, à 0,5 pour des diamètres de 10 cm et 0,8 pour des diamètres supérieurs à 20 cm) :

ii) soit calculer le volume réel en plongeant les bois dans une cuve d'eau et en mesurant le volume déplacé (procédé long, coûteux et nécessitant une lourde installation),

iii) soit peser des volumes connus pour en déduire des densités moyennes qui peuvent servir à déterminer des volumes à partir de pesées, cette dernière approche nous semblant la plus contestable des trois (cf. document 5 pour la mesure du coefficient d'empilage des petits bois).

ESTIMATION DE LA CROISSANCE ET DE LA PRODUCTIVITÉ

Mesures à partir de l'exploitation de parcelles d'âge connu.

Ce type d'étude doit être systématiquement entrepris dans chaque pays à partir d'une stratification basée sur la physionomie du peuplement, sur le sol (cf. document 49) et sur le climat dont la pluviométrie est la donnée essentielle mais pas unique (cf. documents 39, 49, 74). Une enquête approfondie doit être menée pour tenter de mieux connaître l'histoire du peuplement. Des analyses de tige (cf. document 42) doivent permettre de tenir compte des arbres « préexistants » à la date zéro retenue pour le peuplement.

Les analyses de tige et l'examen des cernes d'accroissement.

L'alternance de la saison sèche et de la saison des pluies (unique en climat tropical sec) se marque dans la formation du bois par des différences de structure qui créent une alternance soit de teinte, soit de dessin du plan ligneux pour la majorité des espèces (cf. document 42). Beaucoup d'essences sont donc utilisables pour des études de croissance des arbres de savanes arborées, boisées et de forêts claires.

Mesures à partir de placettes permanentes.

L'ensemble des placettes ayant servi lors des inventaires à déterminer les volumes par destruction du peuplement devrait constituer un réseau de placettes permanentes dont la mesure périodique permettrait de suivre l'évolution et la croissance du peuplement de remplacement. Il en est de même des parcelles exploitées en vue d'estimer la production. Des expériences sont en outre

en cours pour étudier, à partir de dispositifs permettant une analyse statistique future (split plot, blocs randomisés), l'effet de différents types d'exploitation (rez terre, à 30 cm, à différentes saisons, etc.) et de différentes techniques de protection et/ou d'enrichissement. Ces expériences trop peu nombreuses doivent être impérativement multipliées dans les différentes strates phytoécologiques des pays concernés.

Utilisation et synthèse des données recueillies.

Il ne semble pas souhaitable de tenter d'établir des lois de croissance des arbres (ou des buissons) afin d'en déduire l'accroissement des peuplements (démarche suivie par le document 18). En effet, l'extrême variabilité de la composition floristique et de la distribution des âges et des dimensions dans ces peuplements rend peu utilisables des lois de croissance par individu. Il est donc préférable de s'en tenir aux peuplements stratifiés selon des critères phytoécologiques d'une part, dendrométriques de l'autre et pour lesquels on étudiera les liaisons entre la (ou les) productivité(s) mesurée(s) en m³ de produits (mêlés ou classés par catégorie) et les divers facteurs phytoécologiques (climat, sol, structure de la végétation) et dendrométriques (surface terrière, arbre moyen, hauteur, dimension moyenne des cimes, etc.) à partir d'analyses statistiques utilisant les techniques de l'analyse multivariée (analyse en composantes principales en particulier). Il sera ainsi possible d'établir des lois de prédiction de la croissance et de la productivité des divers types de végétation mixte forestière et graminéenne, lois qui pourront être vérifiées, corrigées et affinées au fur et à mesure de l'acquisition de nouvelles données.

CONCLUSION : UTILISATION DES DONNÉES D'INVENTAIRE ET DE PRODUCTIVITÉ DES FORMATIONS LIGNEUSES EN AFRIQUE TROPICALE SÈCHE

LA CONNAISSANCE DES RESSOURCES NATIONALES ET RÉGIONALES

Cette connaissance est indispensable à l'établissement d'un bilan précis des besoins et des ressources, en particulier en ce qui concerne le bois de feu. Ce bilan est absolument nécessaire à la définition d'une stratégie ayant pour objectif la satisfaction des besoins à moyen et à long terme. Le récent plan directeur de développement forestier du Sénégal (document 55) est un bon exemple de ce qui est actuellement réalisable en ce qui concerne l'estimation des ressources et l'on doit recon-

naître que si la connaissance est suffisante au niveau national (et international (cf. document 54)) elle est insuffisante au niveau régional et *a fortiori* au niveau local.

Il est indispensable de réaliser les études de productivité proposées afin de posséder les bases quantitatives indispensables à l'établissement de diagnostic précis des situations régionales et locales.

LA CONNAISSANCE DES TENDANCES ÉVOLUTIVES DE LA VÉGÉTATION (DÉBOISEMENT, DÉGRADATION)

Cette surveillance continue de la végétation naturelle et de ses ressources ligneuses n'a encore été que très localement et partiellement mise en œuvre (travaux du projet F.A.O./P.N.U.E. de surveillance continue des

ressources forestières tropicales : Togo — Bénin — Nigéria — Cameroun). Cependant, cette connaissance est le complément indispensable aux études de diagnostic des ressources actuelles. Dans ce domaine, l'utilisa-

tion de la télédétection appuyée par un réseau de parcelles permanentes est la solution technique appropriée. L'étude de l'évolution des superficies par télédétection n'est pas suffisante car nous avons vu que les phénomènes

de dégradation sont quantitativement très mal connus et que **seules des études de terrain peuvent apporter les éléments quantitatifs nécessaires.**

L'AMÉNAGEMENT DES FORMATIONS NATURELLES DE ZONES SÈCHES

Il est une des actions les plus urgentes à mener.

Cet aménagement aura trois objectifs essentiels :

- 1) utiliser rationnellement l'espace rural : aménagement rationnel du territoire,
- 2) lutter contre les processus de dégradation de la végétation et des sols et de déboisement,
- 3) rationaliser l'exploitation en bois et autres ressources des formations naturelles et en augmenter la produc-

tion future par des actions de protection et éventuellement de sylviculture.

Ces aménagements dont les principes seront simples nécessitent une connaissance suffisante des ressources (inventaires) et de leur évolution dans le temps (productivité). Nous constatons donc encore une fois l'importance des **travaux d'estimation des ressources et de la croissance, indispensables à la réalisation technique des aménagements.**

* * *

Cette revue des connaissances acquises et techniques utilisées concernant la production et la croissance des formations mixtes forestières et graminéennes des pays francophones de l'Afrique tropicale montre :

- 1) que les connaissances existantes permettent une estimation moyenne des limites probables de productivité de ce type de formation en fonction du climat (pluviométrie essentiellement) et du degré de dégradation ou de mise en défens ;

- 2) que ces connaissances sont insuffisantes pour apprécier des situations locales et servir de base à des aménagements de ces formations ;

- 3) que des techniques d'inventaire, de mensuration et de calcul ont été testées avec succès et peuvent être mises en œuvre sous réserve que des moyens suffisants en argent et en techniciens qualifiés soient mobilisés.

LISTE DES DOCUMENTS ÉTUDIÉS

CAMEROUN

Projet nord-ouest BENOUE

- (1) WENCELIUS (F.). — Proposition d'inventaire — Courrier C.T.F.T., 1978.
- (2) CAILLIEZ (F.). — Instructions pour l'inventaire — Courrier C.T.F.T., 1978.
- (3) GOUDET (J. P.). — Besoins en données pour la réalisation d'un aménagement — Courrier C.T.F.T., 1978.
- (4) CAILLIEZ (F.). — Précisions complémentaires sur l'inventaire — Courrier C.T.F.T., 1979.
- (5) BERGONZINI (J. C.). — Rapport provisoire de l'inventaire N. O. BENOUE — C.T.F.T., 1981.
- (6) MEURILLON (M.). — Rapport annuel campagne 79-80 — Projet N.E.B., 1980.

CONGO

- (7) GROULEZ (J.). — Le reboisement des savanes pauvres de la ceinture brazzavilloise, 1956.

HAUTE-VOLTA

- (8) MARIAUX (A.). — Etat actuel des connaissances sur la détermination de l'âge des arbres en Haute-Volta, 1964.
- (9) C.T.F.T./HAUTE-VOLTA. — Rapport annuel 1963, 1964.
- (10) C.T.F.T./HAUTE-VOLTA. — C.R. activité 1977, 1978.
- (11) C.T.F.T./HAUTE-VOLTA. — Rapport annuel 1978, 1979.
- (12) MARIAUX (A.). — Nature et périodicité des cernes dans les arbres de zone tropicale sèche en Afrique de l'ouest, 1979.

- (13) SAMYN (X.). — Note sur la forêt de Toumousseni — Note de travail — Projet forestier U.P.V./78/004 — F.A.O., 1979.

- (14) F.A.O. — Développement des ressources forestières et renforcement du service forestier — Rapport technique 1 — Projet D.P./U.P.V./78/004 — F.A.O., 1979.

- (15) CAMERATI-COMPAORE. — Proposition de protocole d'analyse de la production et de la croissance des forêts naturelles — Note dactylog., 1980.

- (16) ZONGO (X.). — Lettre de proposition du protocole pour demande d'analyse au C.T.F.T., 1981.

- (17) GOUDET (J. P.). — Réponse à la proposition de protocole — Courrier C.T.F.T., 1981.

- (18) LILLELUND (X.). — Etude de la productivité des formations naturelles de Haute-Volta — Rapport F.A.O., 1981.

- (19) C.T.F.T./HAUTE-VOLTA. — Rapport annuel 1981, 1982.

- (20) C.T.F.T./HAUTE-VOLTA. — Recherches d'accompagnement au projet de reboisement A.V.V. ; Rapport analytique des essais Linoghin — Wayen 1981, 1982.

MALI

- (21) JOUVANCEAU (J.). — Les travaux de protection totale contre les feux dans les forêts classées de la région de Ségou, 1961.

- (22) MOREL (J.). — Contribution à l'étude des formations boisées soudanaises en république du Mali — Rapport non publié, 1981.

- (23) GOUDET (J. P.). — Définition d'actions possibles en matière de recherche forestière appliquée en liaison avec les projets de développement en cours — Rapport de mission C.T.F.T., 1982.

NIGER

- (24) DELWAULLE (J. C.) et ROEDERER (Y.). — Le problème du bois de feu à NIAMEY — B.F.T. n° 152 — C.T.F.T./NIGER, 1973.
- (25) C.T.F.T./NIGER. — Les essais 1973 à N'Dounga : Protocole de mise en place d'un essai de protection et régénération d'une savane, 1974.
- (26) C.T.F.T./NIGER. — Projet Planification et Usage des forêts et des sols — Estimation des volumes de *Combretum micranthum* et *Guiera senegalensis*, 1982.

RÉPUBLIQUE CENTRAFRICAINE

- (27) TILLON (R.). — Etude d'une parcelle de savane mise en défens — Bois et Forêts des Tropiques — C.T.F.T., 1961.
- (28) GOUDET (J. P.). — Rapport d'activité du projet F.A.O. d'études et recherches en République Centrafricaine — C.T.F.T., 1979.
- (29) GOUDET (J. P.). — Instructions pour l'étude des formations naturelles en zone de savane, 1979.
- (30) O.N.F./RÉPUBLIQUE CENTRAFRICAINE. — Projet d'aménagement des savanes de Bambari pour la production de bois de feu et de service, 1980.
- (31) GOUDET (J. P.). — Propositions complémentaires pour le projet d'aménagement des savanes de Bambari, 1980.

- (32) BERGONZINI (J. C.). — Analyse des résultats des inventaires par sondage réalisés dans les parcelles « Tillon » — Document provisoire interne C.T.F.T., 1981.

SÉNÉGAL

- (33) MARIAUX (A.). — Etudes des couches d'accroissement du Kad (*Acacia albida*) — C.T.F.T., 1966.
- (34) GIFFARD (P. L.). — L'arbre dans le paysage sénégalais — C.T.F.T., 1974.
- (35) CLÉMENT (J.), GUELLEC (J.), PAIN (M.). — Les ressources forestières du Sénégal — volume A de la phase diagnostic du Plan de développement forestier du Sénégal — C.T.F.T., 1981.

TCHAD

- (36) F.A.O. — Aménagement et exploitation de la végétation forestière de la région de N'Djamena — Rapport technique n° 1 F.O./D.P./C.M.D./75/013, 1979.

TOGO

- (37) GOUDET (J. P.). — Rapport de mission d'identification d'actions forestières — Projet d'Aménagement de la vallée de la Namiè — C.T.F.T., 1979.

Nota : La plupart des documents cités sont des rapports non diffusables.

BIBLIOGRAPHIE

AYANT SERVI DE RÉFÉRENCE

- (38) AUBRÉVILLE (A.). — Climats, forêts et désertification de l'Afrique tropicale — Paris, 1949.
- (39) BAGNOULS (V.) et GAUSSEN (X.). — Les climats biologiques et leur classification — Annales de géographie Paris, 1957.
- (40) UNESCO. — Le Sahel : bases écologiques de l'Aménagement — Note technique MAB, 1974.
- (41) DELWAULLE (J. C.). — La situation forestière dans le Sahel — BFT n° 173 — CTFT, 1977.
- (42) MARIAUX (A.). — Nature et périodicité des cernes dans les arbres de zone tropicale sèche en Afrique de l'Ouest, 1979.
- (43) PANZER (K. F.) et RHODY (B.). — Applicability of large-scale aerial photography to the inventory of natural resources in the Sahel of Upper Volta. Arid land resources inventories workshop. La Paz — Mexico, 1980.
- (44) MEEUWING (R. O.). — Point sampling for shrub biomass. Arid land resource inventories workshop. La Paz — Mexico, 1980.
- (45) CHEHOCK (C. R.). — Using photopredictions, point sampling and dendrometry for timber volume. Arid land resource inventories workshop. La Paz — Mexico, 1980.
- (46) TREADWELL (B.) et BUURSINK (X.). — The Mali land use project : A multiple resource inventory in west Africa. Arid land resource inventories workshop — La Paz — Mexico, 1980.
- (47) CAILLIEZ (F.). — Forest volume estimation and yield prediction — Volume 1 — Estimation FAO Forestry Paper 22/1, 1980.
- (48) ALDER (D.). — Forest volume estimation and yield prediction — Volume 2 — Yield prediction. FAO Forestry Paper 22/2.
- (49) LE HOUEROU (H.). — Phytoecological surveys for land use planning and agricultural development : 25 years of experience in the arid zones of Africa. Arid land resource inventories workshop — La Paz — Mexico, 1980.
- (50) LANLY (J. P.) et CLÉMENT (J.). — Les ressources forestières de l'Afrique tropicale « synthèse régionale ». Projet d'évaluation des ressources forestières tropicales FAO/PNUE, 1981.
- (51) FAO. — Les ressources forestières de l'Afrique tropicale « résumés par pays ». Projet d'évaluation des ressources forestières tropicales FAO/PNUE, 1981.
- (52) TEMU (A. B.) et PHILIP (M. S.). — Sampling woodland for fuelwood — IUFRO paper — Groupe S 402 — IUFRO congress Kyoto, 1981.
- (53) LANLY (J. P.). — Les ressources forestières tropicales — Synthèse mondiale du projet FAO/PNUE d'évaluation des ressources forestières tropicales. FAO Forestry Paper n° 30, 1982.
- (54) MONTALEMBERT (X. de) et CLÉMENT (J.). — Disponibilités de bois de feu dans les pays en développement. FAO Forestry Paper n° 42, 1983.
- (55) C.T.F.T./SCET INTERNATIONALE. — Plan directeur de développement forestier du Sénégal, 1982.