

Confection de radeaux.

REGRESSION DE LA FORÊT DENSE EN CÔTE-D'IVOIRE

par J. P. LANLY,
*Ingénieur de Recherches
au Centre Technique Forestier Tropical*

SUMMARY

REGRESSION OF THE DENSE FOREST IN THE COTE D'IVOIRE

During an inventory of standing timber made in 1966 by the Centre Technique Forestier Tropical, covering most of the forest zone of the Cote d'Ivoire, aerial photographic strips on a scale of 1 : 40,000 were taken in order to determine the area of dense forest in the country at the time of the operation. The whole of the Cote d'Ivoire had been covered by photographic missions on a 1 : 50,000 scale between 1954 and 1957, and a photointerpretation comparison of a sample of old and new photographs corresponding to the same units of terrain made it possible to determine with a high degree of accuracy the area of dense forest in 1966 and the extent of regression of forest areas between 1956 and 1966. The author gives an account of the statistical method of calculation and the possible improvements which could have been made to it. The results are impressive : 2,800,000 hectares of dense

forest were cleared by itinerant cultivation in the space of 10 years ; this was almost 30 % of the area covered by forest in 1956, which was around 9,800,000 hectares. So that in 1966 there remained 7,000,000 hectares of forest which are disappearing at an annual rate of probably not much less than 500,000 hectares. The analysis of some photographs shows the pattern of this clearing, which is mainly linked with the development of public roads and forestry working. The author concludes by stressing the interest of such relatively low-cost surveys, which give the responsible authorities an accurate estimation of the regression of the forest, enabling them subsequently, with full knowledge of the facts, to remedy this deterioration of the natural milieu which is unfortunately characteristic of tropical countries.

RESUMEN

REGRESIÓN DEL BOSQUE DENSO EN LA COSTA DEL MARFIL

Con motivo de un inventario de madera estructural llevado a cabo en 1966 por el Centre Technique Forestier Tropical, en la mayor parte de la zona forestal de la Costa del Marfil, se han tomado diversas series de fotografías aéreas para permitir determinar la superficie de bosque denso en el país en el momento de la operación. El conjunto de la Costa del Marfil había quedado cubierto por diversas misiones fotográficas a 1:50.000 de escala, tomadas entre los años 1954 y 1957, por lo cual la comparación por fotointerpretación de una muestra de las antiguas y nuevas fotografías correspondientes a las mismas unidades de terreno, ha permitido determinar con una precisión correcta la superficie de bosque denso en 1966 y la importancia de la regresión de las superficies arboladas entre 1956 y 1966. El autor expone el método estadístico de cálculo y los perfeccionamientos eventuales que hubiesen podido ser introducidos. Los resultados son impresionantes : 2.800.000 hectáreas de bosque denso han quedado desbrozadas por el cultivo itinerante durante un lapso de tiempo de 10 años, o sea, cerca de un 30 % de la superficie arbolada de 1956, la cual era de unas 9.800.000 hectáreas, aproximadamente. Quedaban, pues, en 1966, 7.000.000 de hectáreas de bosques que desaparecen actualmente según un ritmo anual que probablemente es ligeramente inferior a las 500.000 hectáreas. El análisis de algunas fotografías demuestra cómo se extendían estas roturaciones de tierras vinculadas principalmente con el desarrollo de las carreteras públicas y de explotación forestal. El autor concluye insistiendo acerca del interés de semejantes estudios, relativamente poco costosos, pero que proporcionan a los responsables elementos de juicio para una estimación precisa de la regresión de los bosques, que les permite ulteriormente poner remedio con pleno conocimiento de causa a esta degradación del medio natural, característicos — desdichadamente — de los países tropicales.

La forêt dense ombrophile couvre en Afrique continentale une superficie de l'ordre de 220 millions d'ha, soit près de quatre fois celle de la France. Elle s'étend de la Sierra Leone à l'Ouest, à l'Ouganda à l'Est : elle ne dépasse guère au Nord la latitude de 8° N et son avancée dans l'hémisphère Sud atteint le parallèle 8° S. Elle constitue à l'Ouest une bande littorale pouvant atteindre 400 km de profondeur le long de l'Atlantique et occupe en Afrique centrale une partie importante de la cuvette congolaise (cf. fig. 1).

Au contact des formations de savane, sa limite est parfois assez tranchée. Mais le plus souvent la zone de transition est large de plusieurs dizaines de km, notamment aux abords des bassins des grandes rivières : la forêt dense s'éparpille alors en petits massifs forestiers qui se resserrent de plus en plus autour des cours d'eau et « s'effilochent » en forêts galeries. L'existence de cette zone de transition et l'importance dans certaines régions de défrichements cultureux qui morcellent un peu plus la forêt dense, rendent parfois malaisée la délimitation de cette forêt. Il est plus simple et plus logique à la fois de parler d'une « zone forestière » à l'intérieur de laquelle se trouvent tous les massifs forestiers d'une surface non négligeable.

La surface et la composition actuelles des forêts denses africaines sont le résultat à l'époque historique d'un processus d'évolution qu'on peut très schématiquement diviser en deux parties. Jusqu'au xvii^e siècle, la surface — sinon la composition des forêts denses — n'est pas sensiblement modifiée par leurs habitants qui vivent en symbiose étroite avec le milieu naturel. A partir du xvii^e siècle et

plus particulièrement depuis le début de l'ère coloniale, l'introduction de cultures vivrières ou d'exportation, l'augmentation importante de la population à l'intérieur de la zone forestière, dues en particulier à l'immigration de nombreux hommes venus des savanes ont contribué de plus en plus par les défrichements cultureux, non seulement à modifier la composition de forêts denses, mais également à réduire parfois considérablement les surfaces forestières.

Il n'entre pas dans le propos de cet article d'émettre des hypothèses sur l'évolution générale des formations végétales sur le continent africain aux époques les plus reculées (1) ni d'essayer de refaire l'histoire des mouvements d'immigration en zone forestière, notamment en bordure du Golfe de Guinée, du xvii^e siècle à nos jours. Plus exactement il est de montrer comment, grâce à une étude simple de photo-interprétation, on a pu pour la première fois apprécier d'une manière objective dans un pays donné — la Côte-d'Ivoire — la diminution de l'état boisé en l'espace de 10 ans (1956-1966) et indiquer comment l'importance et la localisation des défrichements cultureux qui en sont la cause sont liées au développement de l'infrastructure routière.

Après avoir rappelé brièvement dans quel contexte se situe cette étude, on précise la méthode utilisée pour l'étude de la disparition de la forêt dense ivoirienne et on indique les résultats tant quantitatifs que qualitatifs auxquels on est parvenu.

(1) On consultera avec intérêt l'opuscule de M. AUBREVILLE « Contribution à la paléohistoire des forêts de l'Afrique tropicale ».

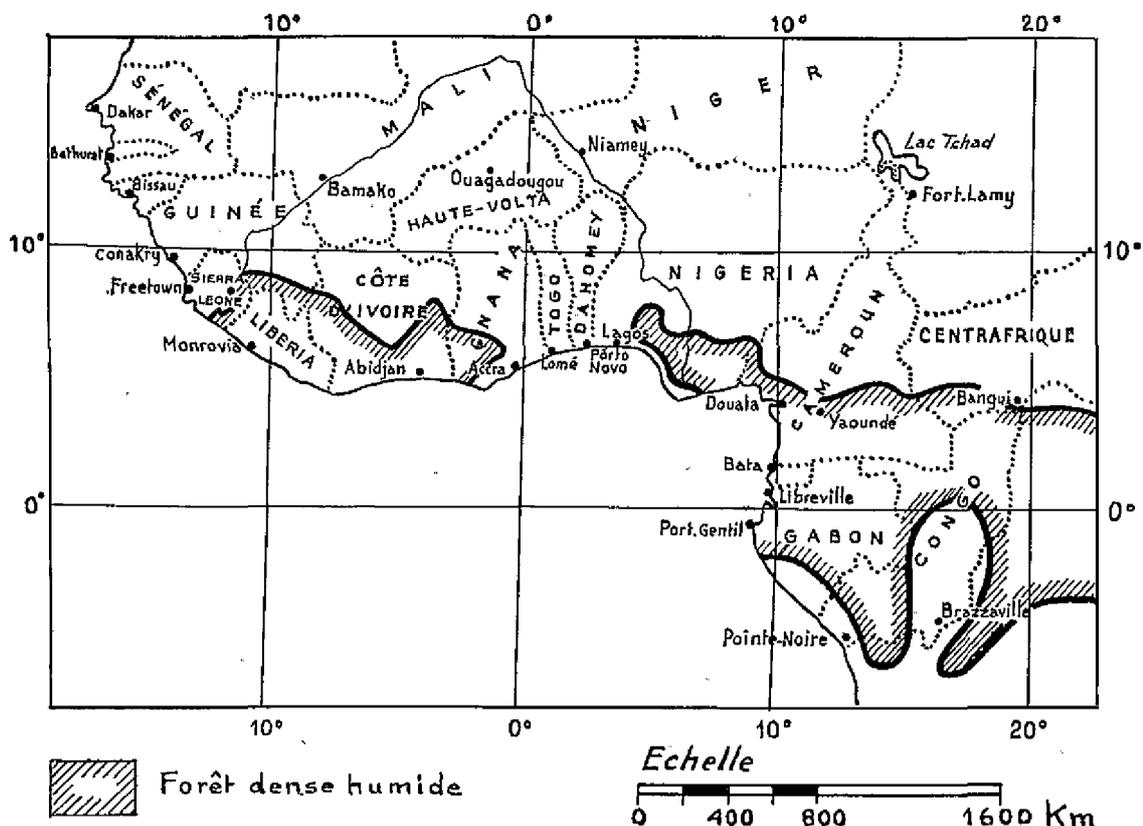


FIG. 1.

ENVIRONNEMENT DE L'ÉTUDE. APERÇU FORESTIER EN CÔTE-D'IVOIRE

Sur une superficie totale approximative de 33.000.000 d'ha, la « zone forestière » de la Côte-d'Ivoire couvre près de 16.000.000 d'ha, soit un peu moins de 50 %. Elle occupe une bande de 350 km environ de large, comprise entre les parallèles 5° N (littoral atlantique) et 8° N et marquée en son milieu par une échancrure profonde (le « V baoulé ») au niveau de laquelle sa largeur se réduit environ à 150 km. On distingue deux types principaux de forêt dense. En bordure de l'Atlantique, au centre, et remontant vers le Nord à l'Ouest et à l'Est, la **forêt sempervirente** (« Rain forest ») correspond sensiblement à une pluviométrie supérieure à 1.600 mm par an et est caractérisée par la présence de trois essences commercialement connues, l'Acajou de Bassam (*Khaya ivorensis*), l'Azobé (*Lophira alata*) et le Niangon (*Tarrietia utilis*) ; la **forêt semi-décidue** (« Deciduous Forest ») correspond à une pluviométrie plus faible et est limitée au Nord par la savane. L'essence de forêt semi-décidue la plus connue est le Samba (*Triplochiton scleroxylon*).

Entre ces deux types principaux une forêt de transition contient en mélange les essences caractéristiques des forêts sempervirentes et semi-décidues.

Depuis le début du siècle, l'exploitation forestière s'est développée régulièrement. Elle est née grâce surtout à la présence en quantité non négligeable d'Acajous de Bassam dans la forêt sempervirente le long du littoral. Elle s'est ensuite intéressée, après la deuxième guerre mondiale, à d'autres bois rouges — Aboudikro ou Sapelli (*Entandrophragma cylindricum*), Sipo (*Entandrophragma utile*), Niangon, Makoré (*Dumoria heckelii*) — et également à des bois blancs, essentiellement le Samba. Si jusqu'en 1957, l'exploitation forestière s'est développée à un rythme moyen, elle a connu à partir de cette date un essor considérable dû en partie à l'exploitation du Sipo dans son aire occidentale et dans une moindre mesure à celle du Samba dans les forêts semi-décidues. Le tableau suivant montre l'évolution de la production forestière ivoirienne depuis la fin de la deuxième guerre mondiale.

Année	Production billes (m ³)	Année	Production billes (m ³)
1947	120.000	1958	615.000
1948	160.000	1959	730.000
1949	150.000	1960	1.020.000
1950	220.000	1961	1.250.000
1951	265.000	1962	1.450.000
1952	175.000	1963	1.550.000
1953	255.000	1964	2.300.000
1954	290.000	1965	2.600.000
1955	315.000	1966	2.600.000
1956	420.000	1967	3.000.000
1957	475.000	1968	3.500.000

Sur les 3.000.000 de m³ exploités en 1967, le Sipo représente 1.000.000 de m³ environ et le Samba 700.000.

L'exploitation forestière confinée dans les premières années aux forêts littorales s'est enfoncée ensuite plus profondément vers l'intérieur des terres. Malgré la diversification des bois commercialisables qui a permis de parcourir une ou deux fois de plus des permis déjà exploités pour l'Acajou de Bassam, et en dépit de l'impossibilité d'utiliser les grandes rivières du pays pour le flottage des bois, la quasi-totalité de la zone forestière est maintenant couverte de permis déjà exploités ou qui le seront dans un avenir proche. Le seul domaine forestier important non encore concédé est la forêt classée de TAI qui couvre dans l'Ouest de la zone forestière une surface de 425.000 ha.

Cette rapide extension des surfaces concédées à l'exploitation forestière a des conséquences importantes sur le maintien des surfaces boisées. Non que le fait même de l'exploitation perturbe l'équilibre forestier au point d'entraîner une disparition de l'état boisé : l'abattage et le débardage d'un ou deux gros arbres à l'ha, opérations auxquelles il faut ajouter l'ouverture des routes forestières, si elles modifient quelque peu la composition des peuplements et interviennent sur leur évolution, n'entraînent nullement la disparition de ceux-ci. Mais en rendant accessibles les massifs de forêt dense par le réseau routier qu'elle y crée, l'exploitation forestière favorise l'implantation de paysans isolés ou en groupes, lesquels défrichent avant d'installer leurs plantations. Les terrains forestiers ainsi occupés par les cultures sont assez vite abandonnés — après 2 ou 3 ans seulement s'il s'agit de cultures vivrières — les sols étant rapidement épuisés.

Conscient de ces problèmes, le gouvernement ivoirien a demandé au Fonds d'Aide et de Coopération

français, de bien vouloir financer une « étude de reboisement et de protection des sols » qui fut réalisée de 1965 à 1967 par le Centre Technique Forestier Tropical (C. T. F. T.) en collaboration avec l'Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre-mer (O. R. S. T. O. M.) et le Bureau pour le Développement de la Production Agricole (B. D. P. A.). La zone à étudier est constituée par l'ensemble du territoire de la Côte-d'Ivoire, à l'exception de la région Sud-Ouest (comprise entre la frontière libérienne et le fleuve Sassandra, au Sud du parallèle 6° 30').

Deux parties importantes de cette étude s'intitulent « Délimitation du domaine forestier » et « Evaluation du potentiel de bois d'œuvre ». Le résultat de la première a été de proposer le « classement » d'un certain nombre de massifs forestiers devant jouir d'un statut spécial qui les protégerait d'un empiétement ou d'une disparition du fait des défrichements par l'agriculture itinérante. La seconde a servi à faire le point de la situation forestière, c'est-à-dire à indiquer la surface restante de forêt dense et son potentiel exploitable pour une quarantaine d'essences commercialisables. La zone forestière étudiée — c'est-à-dire celle à l'intérieur de laquelle se trouve la quasi-totalité des massifs forestiers de quelque importance — couvre 13.100.000 ha (surface à laquelle il faut rajouter les 2.600.000 ha de la région forestière du Sud-Ouest non étudiée par le C. T. F. T.).

Aucun document ne pouvait donner au moment de l'inventaire, une estimation valable de la surface de forêt dense. En particulier, la couverture photographique aérienne complète des années 1954 à 1957 n'était pas utilisable compte tenu de la disparition importante de forêt dense depuis ces années. Il a donc fallu « actualiser » ce document, en faisant prendre un échantillon de photographies aériennes au moment de l'inventaire. Ayant à notre disposition ces deux documents photographiques, la tentation a été grande — bien que cela ne fut pas demandé dans la convention d'étude — de les comparer et d'en déduire le plus objectivement possible une estimation de la diminution de la surface occupée par la forêt dense entre 1954-57 et 1966. Cette petite étude complémentaire a donc été réalisée postérieurement à l'étude principale et a permis d'apporter une information utile dans le dossier d'un problème important non seulement pour la Côte-d'Ivoire mais aussi pour la majorité des pays tropicaux. C'est cette étude qui est rapidement exposée dans la suite de cet article.

MÉTHODE UTILISÉE

DOCUMENTS DISPONIBLES

La couverture aérienne ancienne est une couverture complète de l'Institut Géographique National sur émulsion panchromatique au 1/50.000^e ; elle est constituée par plusieurs « missions régulières »,

chaque mission correspondant à une surface d'un degré carré (110 km × 110 km environ), c'est-à-dire encore à une coupure cartographique au 1/200.000^e. Dans une mission les photographies sont réparties

A.O.F 1956-57 MISSION NB 30-VII

DATE	HEURE	CHAMBRÉ	ÉCHELLE		N° (SERIE)	OBSERVATIONS
			CADRE	CLICHÉ		
1957	12h00	4-20	100000	180000	36	
1957	14h00				37	EAU couvrait surface

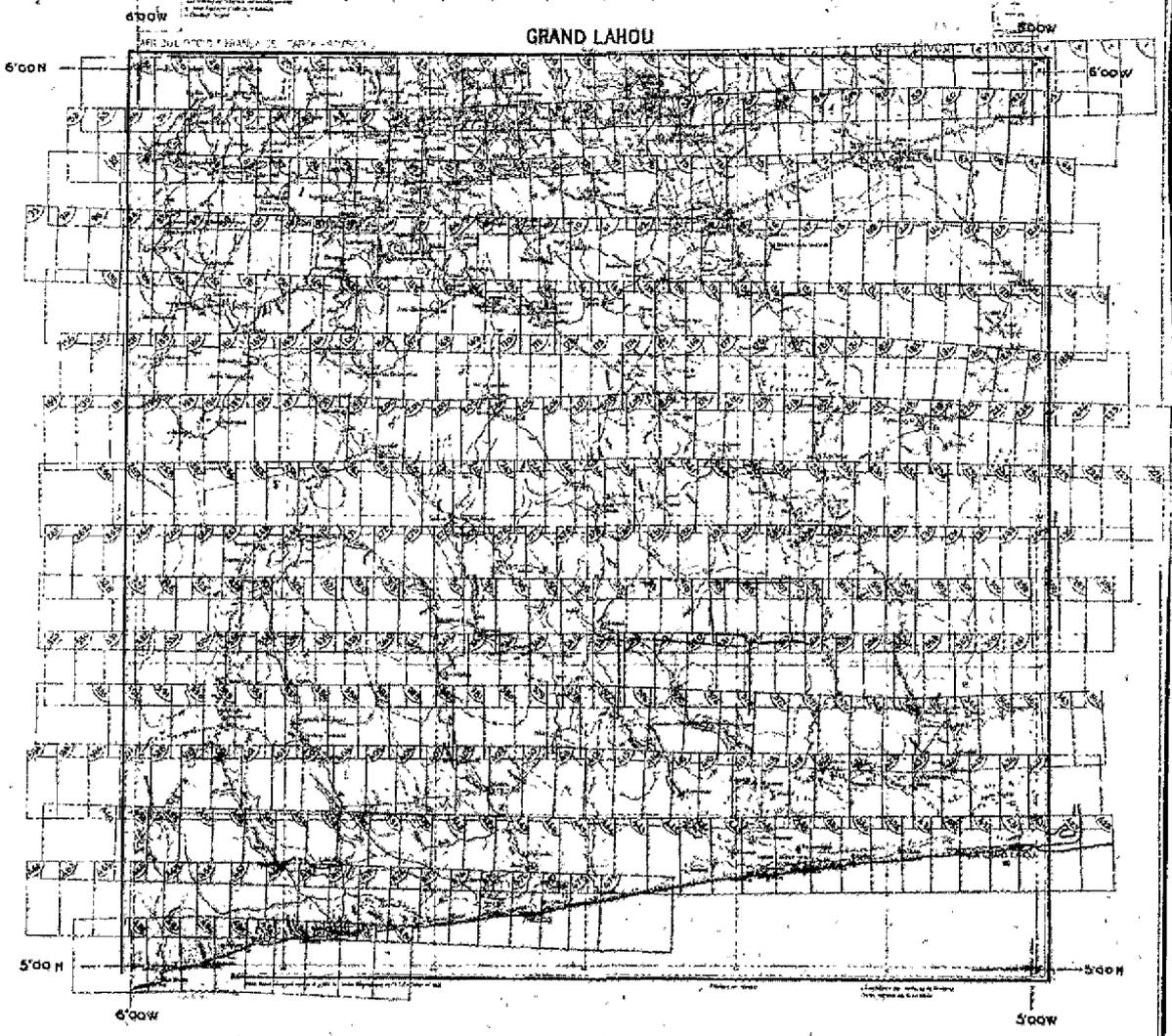


FIG. 2.

sur des bandes Ouest-Est, les photographies successives d'une même bande se recouvrant environ à 60 %, les bandes ayant entre elles un recouvrement approximatif de 20 % (10 % sur la bande supérieure, 10 % sur la bande inférieure). La figure 2 reproduit le tableau d'assemblage d'une mission I. G. N. en Côte-d'Ivoire.

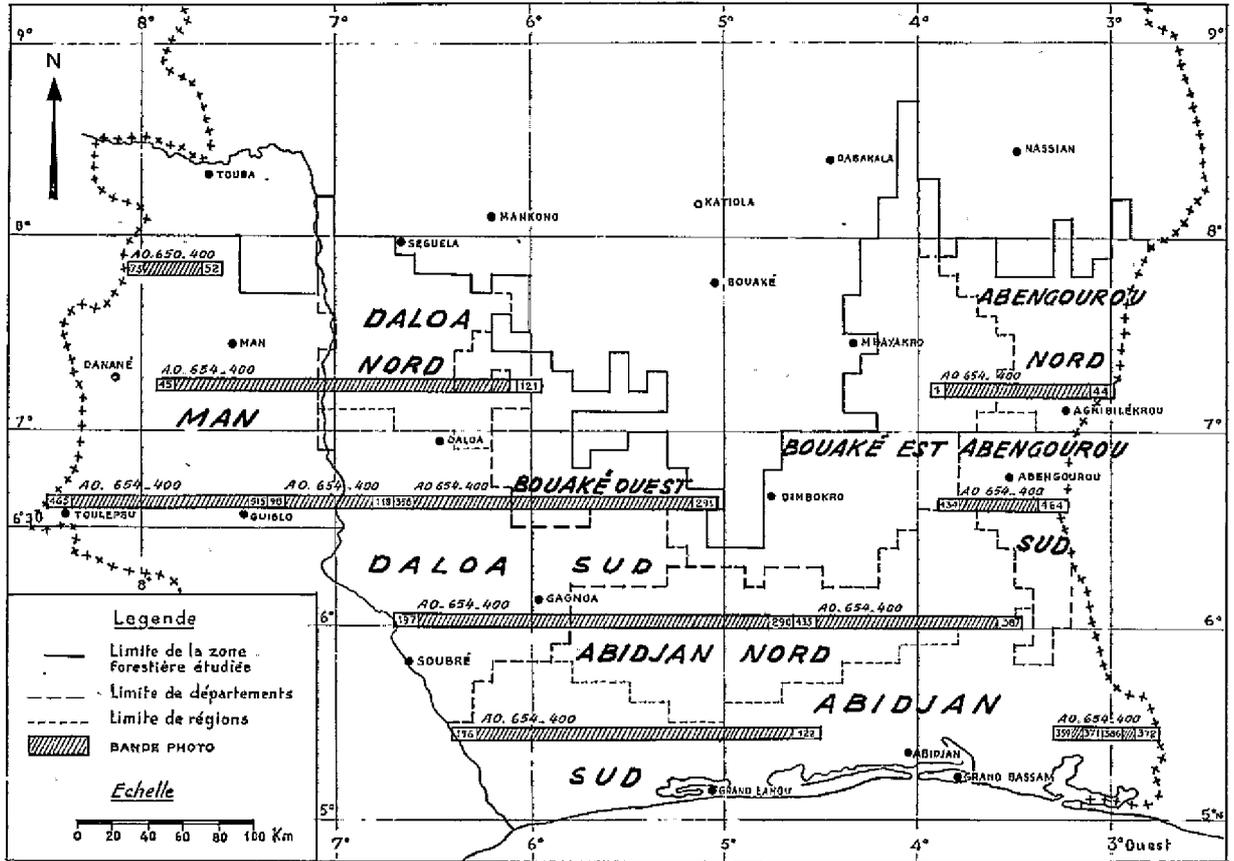
La focale de la caméra de prises de vues étant de 125 mm, l'altitude moyenne de l'avion au-dessus du sol est de 6.250 m environ. L'absence de relief important dans la plus grande partie de la zone forestière étudiée fait que l'échelle est égale à 1/50.000^e à quelques pour cent près. Sur ces clichés 18 x 18 les limites et la consistance des massifs forestiers sont très aisément repérables, au moins en vision

stéréoscopique. Quelques photographies en limite de la zone forestière étudiée mises à part, l'ensemble des prises de vues a été réalisé au cours des saisons sèches 1954-55 - 1955-56 - 1956-57 c'est-à-dire entre décembre 1954 et mars 1957. La partie utile de chaque photographie, couvrant 2.500 ha environ (100 cm²), les photographies de l'ensemble de la zone étudiée sont au nombre de :

$$\frac{13.100.000}{2.500} \approx 5.250$$

Pour les besoins de l'évaluation du potentiel en bois d'œuvre dans la zone étudiée, des prises de vues aériennes ont été réalisées en janvier et décembre

Fig-3 PRISES DE VUES AÉRIENNES DE 1966 (Missions AO 650.400 et 654.400)



1966. Compte tenu du coût trop élevé d'une couverture aérienne complète sur l'ensemble de la zone forestière étudiée, on s'est limité à un échantillon de bandes équidistantes de direction Ouest-Est géographique, depuis la frontière libérienne et le fleuve Sassandra à l'Ouest, jusqu'à la frontière ghanéenne à l'Est, chaque bande étant interrompue aux limites de la zone forestière étudiée. L'équidistance des bandes est de 65 km environ. L'échelle des photographies aériennes est de 1/40.000^e à

quelque pour cent près, chaque cliché 18 × 18 étant pris en panchromatique et en infra rouge.

Au total, 558 photos ont été prises, représentant 1.600 km de bande et une surface totale de 1.150.000 ha. La figure 3 reproduit l'ensemble des bandes 1966.

Comme sur les photos panchromatiques prises dans les années 1954 à 1957 — et même mieux que sur celles-ci — il a été possible d'isoler et de caractériser les massifs de forêt dense.

MODALITÉS DE L'ÉTUDE

Dans ses grandes lignes la méthode utilisée est la suivante. L'étude de la couverture complète de 1954-57 et des cartes établies à partir de celle-ci donne une estimation exacte de la surface totale de la zone forestière et du pourcentage exact de forêt dense à cette époque. Ensuite, les mêmes unités de terrain sont délimitées sur certaines photographies de 1966 et les clichés correspondants des missions 1954-57. Dans chaque unité on détermine la proportion de terrain occupée par la forêt dense en 1954-57 et en 1966. Grâce à l'estimation exacte du pourcentage de forêt dense en 1954-57 et en utilisant les

valeurs de cette proportion dans chacune des unités de l'échantillon aux deux époques, on peut déterminer par la méthode statistique de régression une estimation du pourcentage exact de forêt dense sur l'ensemble de la zone forestière en 1966, et par suite, la disparition de forêt dense entre ces deux dates.

Evaluation des surfaces sur les photographies aériennes.

On considère un échantillon au tiers des photographies 1966, soit au total 170 photographies pri-



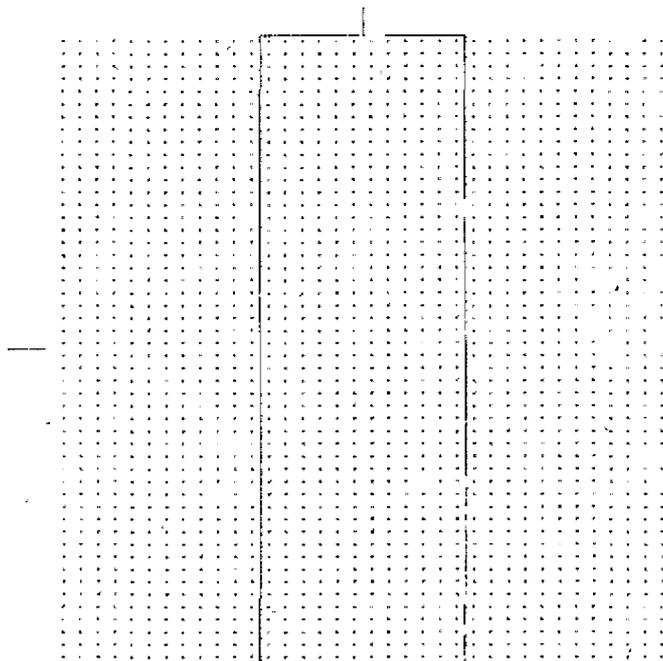


FIG. 4. — Grille de points pour étude
d'une photographie 1966
Réduction $\frac{1}{2}$.

ses dans toutes les bandes à raison systématiquement d'une photographie toutes les trois. Au centre de chacune de ces 170 photos (cliché panchromatique), on limite une zone rectangulaire de 17 cm de haut (Nord-Sud) sur 5,5 cm de large, dénommée « partie utile », 5,5 cm correspondent sensiblement à 30 % de la largeur de la photographie. La surface correspondante sur le terrain est de 1.500 ha.

La « partie utile » de chacune des 170 photographies étudiées constitue une unité d'échantillonnage de l'échantillon des photographies au 1/40.000^e, dont la surface totale correspondante sur le terrain représente 255.000 ha (soit un taux de sondage de $\frac{255.000}{13.100.000} \approx 2\%$).

A l'intérieur de chaque partie utile, on délimite tous les massifs de forêt dense d'une surface supérieure à 10 ha (carré de 8 mm sur 8, ou cercle de 4,5 mm). Le choix de 10 ha comme surface minimum résulte de considérations à la fois pratiques — l'erreur relative d'estimation de la surface d'un massif forestier due à la délimitation sur des photographies aériennes au 1/40.000^e et au 1/50.000^e, devient trop forte lorsque la surface est inférieure à 10 ha — et techniques — l'exploitation forestière de massifs trop petits est difficile et peu rentable.

On place ensuite sur la partie utile de chaque photographie une grille transparente de 600 points et on estime la surface cumulée des massifs de forêt dense (cf. fig. 4). Chaque point de la grille représente 2,5 ha environ (2,493 très exactement). Si m_i désigne le nombre de points en forêt dense dans la i ème photo, on détermine la proportion $y_i = \frac{m_i}{600}$ de forêt

dense sur cette photo. Les massifs forestiers retenus sont ceux qui correspondent à un nombre de points supérieur ou égal à 4. Le choix de cette grille a été fait en fonction de l'erreur admissible sur l'évaluation du pourcentage de forêt dense par partie utile et également en tenant compte de ce qu'il n'est pas possible d'augmenter indéfiniment le nombre de points d'une grille si l'on veut pouvoir en particulier éviter des erreurs au comptage des points.

Si p désigne le pourcentage estimé à l'avance de forêt dense, l'erreur au seuil 0,95 sur p est égale à :

$$e = 2 \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$$

n étant le nombre de points de la grille.

Soit

$$n = 4 \frac{p(1-p)}{e^2}$$

n est maximum pour $p = 1/2 = 50\%$. Pour cette valeur de p , une grille de 600 points correspond sensiblement à une erreur absolue de $\pm 0,04$, soit une erreur relative sur p de l'ordre de 8 %, ce qui a été jugé admissible, d'autant que la disposition systématique des points d'une grille permet d'affirmer que l'erreur réelle commise est inférieure dans plus de 95 % des cas à ce chiffre.

La « partie utile » de chaque photographie aérienne au 1/40.000^e de 1966 étudiée, est reportée sur la ou les photographies au 1/50.000^e de 1954-1957. Les côtés et les sommets de chaque partie utile sont reproduits sur les photographies au 1/50.000^e grâce à des points et lignes remarquables du terrain — rivières, inclusions de savanes, blocs rocheux sans végétation, etc... — ou de l'infrastructure — routes permanentes, ponts, carrefours importants, etc...

Le rectangle correspondant à la partie utile est reproduit sur les parties centrales des photographies de 1954-1957 correspondantes. Ainsi la partie utile d'une photographie de 1966 peut, soit se retrouver totalement sur une seule photographie 1954-57 soit, plus souvent, se répartir sur deux ou même quatre photographies 1954-1957 (cf. fig. 6).

Sur le rectangle correspondant de la couverture au 1/50.000^e, on place une grille rectangulaire de 600 points également, réduction à cette échelle de la grille utilisée sur les photographies aériennes au 1/40.000^e (cf. fig. 5) : les points des deux grilles ont exactement la même équivalence en surface horizontale, c'est-à-dire très sensiblement 2,5 ha. On compte le nombre de points m'_i se trouvant en

FIG. 5. — Grille de points pour étude d'une photographie 1954-57. Réduction $\frac{1}{2}$

forêt dense dans la ième photo et on détermine de la même façon que précédemment la proportion $x_i = \frac{m'_i}{600}$ de forêt dense sur cette photo.

Estimation de la disparition de la forêt.

La méthode statistique qui apparaît la plus adaptée est la méthode de régression. En effet, si x et y désignent les proportions de forêt dense respectivement en 1954-1957 et en 1966, on connaît, d'une part, \bar{x}_0 pourcentage (moyen) exact de forêt dense en 1954-57 et, d'autre part, les valeurs x_i et y_i des pourcentages de forêt dense aux deux époques pour chaque unité d'échantillonnage (c'est-à-dire pour chacune des 170 parties utiles des photographies 1966).

L'estimation \bar{y}' du pourcentage moyen de forêt dense en 1966 donnée par cette méthode est égale à :

$$\bar{y}' = \bar{y} + b(\bar{x}_0 - \bar{x}) \quad (1)$$

\bar{x} et \bar{y} étant les proportions moyennes données par l'échantillon des parties utiles des photographies :

$$\bar{x} = \frac{\sum_i x_i}{n}$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_i y_i}{n} \quad (n = 170).$$

et b une estimation du coefficient angulaire de la régression :

$$b = \frac{\sum_i (y_i - \bar{y})(x_i - \bar{x})}{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}.$$

Une estimation de la disparition de forêt dense est alors égale à :

$$\begin{aligned} \text{en proportion : } d &= \bar{x}_0 - \bar{y}' \\ \text{en surface : } D \text{ (ha)} &= 13.100.000 (\bar{x}_0 - \bar{y}'). \end{aligned}$$

Une estimation de l'erreur relative en % au seuil 0,95 sur D est donnée par la formule :

$$e(D) \% = \frac{200}{d} \sqrt{\frac{1-f}{n}} \sqrt{s_y^2 - \frac{s_{xy}^2}{s_x^2}} \quad (2)$$

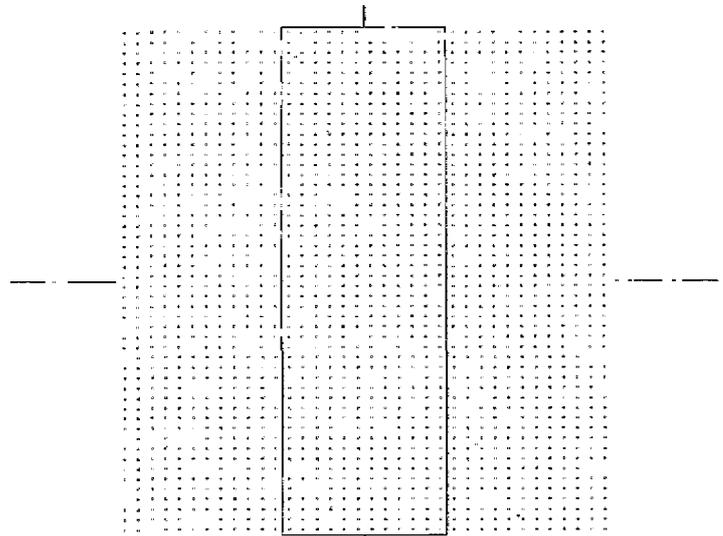


Fig. 6

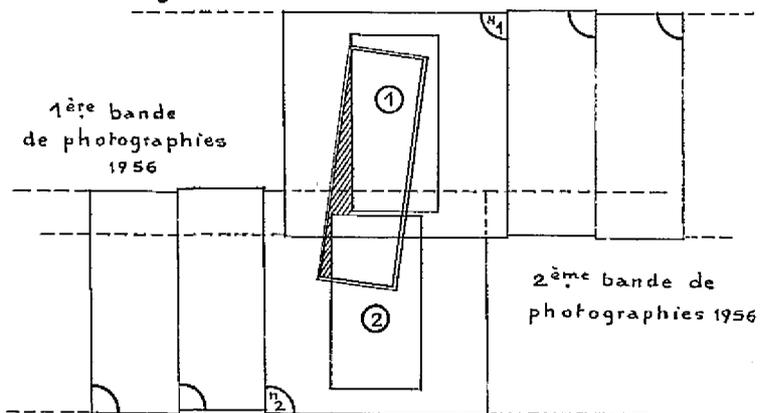


FIG. 6. — La « partie utile » d'une photographie 1966 (entourée d'un double trait) est couverte en grande partie par les parties utiles des photographies n_1 et n_2 de 1954-1957 : on appliquera la grille des points sur le montage de ces deux photographies.

avec :

$$s_y^2 = \frac{\sum_i (y_i - \bar{y})^2}{n-1}$$

$$s_x^2 = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}{n-1}$$

$$s_{xy} = \frac{\sum_i (y_i - \bar{y})(x_i - \bar{x})}{n-1}$$

f étant le taux de sondage ($f \neq 0,02$).

Critique de la méthode.

La première critique qui peut être faite provient de la répartition des bandes de photographies 1966 sur l'ensemble de la zone forestière étudiée. Compte

tenu des modifications apportées à la limite septentrionale de la zone forestière après la signature du contrat de prises de vues aériennes, les zones de lisière avec la savane se trouvent insuffisamment représentées dans l'échantillon des photographies 1966. Il s'ensuit une sous-estimation probable de la disparition de forêt dense compte tenu de la vulnérabilité plus grande de ces zones soumises à la pression agricole des paysans du pays Baoulé.

On peut également demander pour quelles raisons des corrections n'ont pas été établies pour tenir compte de l'étalement sur trois saisons sèches (décembre 54 à mars 57) des prises de vues aériennes anciennes. Outre que ces corrections auraient notablement compliqué le calcul, on peut considérer que l'erreur ainsi commise est faible, la disparition de la forêt pendant les premières années étant beaucoup moins importante que dans les années postérieures à 1960.

Sur le plan de l'examen des photographies aériennes, on n'a pas jugé utile d'introduire de correctif tenant compte de la variation d'échelle suivant les clichés. D'une part ces variations sont faibles sauf dans la partie Nord-Ouest de la zone forestière du fait de l'absence de relief important. D'autre part, la modification d'échelle n'intervient pas en principe pour la détermination des variables x et y qui sont des pourcentages.

Par contre, sur le plan statistique, l'estimation de la disparition de la forêt, d , peut être faite de façon plus rigoureuse. Les objections qui peuvent être faites sont au nombre de cinq.

a) On peut objecter d'abord que les variables x et y comprises entre 0 et 1 n'ont pas une distribution normale et qu'une transformation est nécessaire pour pouvoir obtenir une estimation non biaisée de l'erreur e (%).

b) Il serait également plus rigoureux de considérer que l'unité d'échantillonnage ultime n'est pas la partie utile d'une photo mais chaque point de la grille. A ceci on peut répondre que la grille de points est conçue beaucoup moins comme un ensemble d'unités (points) du plan de sondage que comme un moyen de mesure des variables x et y , qui pourrait être remplacé par exemple par l'utilisation d'un planimètre.

c) La proximité des unités fait qu'elles ne peuvent être considérées comme totalement indépendantes relativement aux variables x et y . L'estimation $e(D)$ % de l'erreur à craindre sur D est de ce fait biaisée et légèrement inférieure à l'erreur théorique vraie. Néanmoins le morcellement important de la forêt dense fait que la valeur de x (ou de y) dans une unité (partie utile de photographie) est peu liée à la valeur de la même variable dans les unités voisines.

d) La légère variation d'échelle d'une photographie à l'autre, entraîne une légère inégalité dans la taille des « parties utiles » qui n'ont pas toutes une surface

égale à 1.500 ha ; cet inconvénient peut être néanmoins considéré comme mineur compte tenu que les échelles ne diffèrent que de quelques % entre elles.

e) Enfin et surtout, il serait plus valable de considérer qu'il s'agit d'un sondage à deux degrés, les bandes de photographies constituant les unités primaires et les parties utiles des photographies étant les unités secondaires.

Le taux de sondage f_1 de l'échantillon des bandes est sensiblement égal au rapport de la hauteur utile d'une bande (17 cm au 1/40.000^e) sur l'équidistance des bandes (en fait il lui est légèrement inférieur compte tenu des parties manquantes des bandes).

Le taux de sondage f_2 de l'échantillon des photographies dans chaque bande est égal au rapport de la somme des largeurs des parties utiles des photographies étudiées sur la longueur totale de la bande correspondante soit en moyenne 25 % environ.

Si h désigne l'indice caractérisant la bande et h_i l'indice de la i ème photographie étudiée dans la bande h , l'estimation \bar{y}' du pourcentage de forêt dense en 1966 est égale à :

$$\bar{y}' = \bar{y} + b(\bar{x}_0 - \bar{x}) \quad (3)$$

avec

$$\bar{x} = \frac{\sum_h \sum_i x_{hi}}{\sum_h n_h} \quad \bar{y} = \frac{\sum_h \sum_i y_{hi}}{\sum_h n_h}$$

et

$$b = \frac{\sum_h \sum_{i=1}^{n_h} (y_{hi} - \bar{y}_h) (x_{hi} - \bar{x}_h)}{\sum_h \sum_{i=1}^{n_h} (x_{hi} - \bar{x}_h)^2} \quad (4)$$

n_h désignant le nombre des photographies étudiées dans la bande h , \bar{x}_h et \bar{y}_h étant les moyennes des x_{hi} et y_{hi} pour la bande h .

La formule d'erreur est dans ce cas assez complexe. Elle se ramène à la formule (2) si l'on réduit le nombre de strates à 1.

L'utilisation de cette méthode permet une estimation de d plus satisfaisante et réduit la marge d'incertitude. Cependant l'intérêt purement documentaire de cette petite étude complémentaire ne justifie pas des calculs plus complexes que ceux qui ont été réalisés.

Les critiques formulées peuvent paraître nombreuses. Cependant, sauf en ce qui concerne le dernier point évoqué dans l'alinéa e) ci-dessus, elles ont trait à des défauts mineurs qui n'entachent que très faiblement la validité et la rigueur de l'estimation fournie. On peut considérer que la méthode utilisée a permis d'employer de façon très satisfaisante les deux documents photographiques disponibles.

RÉSULTATS

L'analyse comparée des 170 photographies prises en 1966 avec les photographies 1954-57 correspondantes a permis non seulement d'obtenir une estimation de l'importance de la déforestation en dix

ans, mais également de montrer que l'ouverture de nouvelles routes facilitait et accélérât le déboisement.

ESTIMATION DE LA DÉFORESTATION EN DIX ANS (1956-1966)

En 1954-57, l'ensemble des massifs de forêt dense de plus de 10 ha couvrait une surface de 9.799.000 ha, soit 74,86 % de la surface totale de la zone forestière étudiée par le C. T. F. T. (13.090.000 ha exactement).

Sur les 170 photographies 1966 étudiées, la proportion moyenne des massifs de forêt dense de plus de 10 ha a été trouvée égale à :

$$\bar{y} = 53,62 \%$$

Sur les parties correspondantes des photographies 1956, la proportion moyenne trouvée est égale à :

$$\bar{x} = 74,99 \%$$

Par ailleurs, on a :

$$b = 1,0933.$$

D'où :

$$\begin{aligned} \bar{y}' &= 53,62 + 1,0933(74,86 - 74,99) \\ &= 53,48 \neq 53,5. \end{aligned}$$

La disparition de la forêt dense est donc égale à :

— en pourcentage de la surface totale de la zone forestière :

$$d = 74,9 - 53,5 = 21,4 \%$$

— en surface :

$$D = 0,214 \times 13.100.000 \neq 2.800.000 \text{ ha.}$$

En l'espace de dix ans, 2.800.000 ha de forêt dense sont passés de l'état boisé à l'état de cultures, de jachères, ou de brousses secondaires arbustives : autrement dit 70 % des massifs forestiers de 1956 sont encore sur pied en 1966. Ceci représente une diminution du taux de boisement de l'ensemble du pays de 8,5 % en dix ans.

La formule d'erreur (2) donne : $e(D) \% = 12,5 \%$. On peut donc affirmer — avec les réserves indiquées au paragraphe « critique de la méthode » — que la surface déforestée a 95 chances sur 100 d'être comprise dans l'intervalle suivant :

$$2.800.000 \times 0,875 < D < 2.800.000 \times 1,125.$$

Soit

$$2.450.000 \text{ ha} < D < 3.150.000 \text{ ha.}$$

On peut accompagner ces résultats des commentaires suivants :

1) La déforestation est évidemment très variable suivant les régions. Elle est très forte relativement (entre 35 % et 45 % de la surface 1956) pour les régions limitrophes de la savane où la pression démographique est très forte et où de nombreuses routes publiques ou d'exploitation forestière ont été ouvertes (région de Man, Bouaké Ouest et Bouaké Est). Elle est faible dans les régions peu peuplées et où l'exploitation forestière est moins importante qu'ailleurs (Abidjan Sud et Daloa Nord) : dans ces deux dernières régions la disparition de la forêt en dix ans ne représente pas 10 % de la surface forestière 1956.

2) Cette déforestation n'a certainement pas été régulière dans le temps. L'immigration des cultivateurs dans la zone forestière et leur mobilité sont en effet fonction de l'ouverture de nouvelles routes et par suite, en grande partie, de l'extension prise par l'exploitation forestière en Côte-d'Ivoire. En supposant que la surface des défrichements culturels est proportionnelle au volume exploité — ce qui est une hypothèse très grossière mais qui rend mieux compte de la réalité que celle d'un déboisement égal dans le temps — les chiffres du tableau du paragraphe 1 permettent de préciser un peu mieux l'évolution des défrichements dans le temps. Il est vraisemblable que le déboisement annuel était de l'ordre de 100.000 ha en 1956 et a dû passer à plus de 500.000 ha en 1966.

En gros, ceci conduit à admettre que 2 ha de forêt disparaissent chaque fois que l'on exploite 10 m³ c'est-à-dire l'équivalent d'un arbre d'un mètre de diamètre. Ces deux ha contiennent en général plus de 100 m³ de bois d'arbres de diamètre exploitable et d'essences diverses (actuellement commercialisables ou non) qui sont ainsi brûlés sur pied presque en pure perte. L'exploitation forestière s'étant considérablement accrue ces dernières années, on peut penser qu'il a dû disparaître, de la mi-63 à la mi-66, autant de forêt que dans les 7 années précédentes.

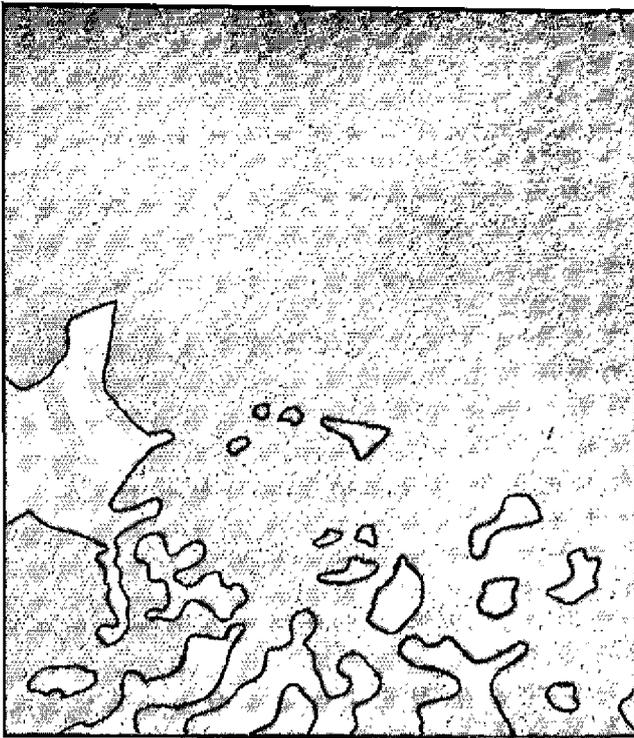


FIG. 7.

FIG. 8.



FIG. 9.



3) La région Sud-Ouest, comprise entre la frontière libérienne et le fleuve Sassandra, au Sud du parallèle $6^{\circ} 30'$, qui représente 16 % de l'ensemble de la zone forestière de la Côte-d'Ivoire, n'a pas été prise en considération. Les chiffres de disparition de la forêt doivent donc être majorés mais faiblement. En effet, cette région est restée peu peuplée au cours de la période étudiée et l'exploitation forestière ne s'y est développée d'une manière importante qu'à partir de 1964 envi-

FIG. 7. — *Reproduction partielle de la photographie 286 de la mission I. G. N. NB 30 VII : les défrichements à droite de la route sont peu nombreux et peu étendus.*

FIG. 8. — *Reproduction partielle de la photographie 148 de la mission 1966 : même zone que celle de la fig. 7, 10 ans après : les défrichements à droite de la route sont beaucoup plus nombreux.*

FIG. 9. — *Reproduction partielle de la photographie 124 de la mission 1966 : exemple d'extension de défrichements aux abords d'une route.*

Photos Institut Géographique National.

ron. On peut préciser que la disparition de 1956 à 1966 de la forêt dense sur l'ensemble de la Côte-d'Ivoire est légèrement inférieure à 3.000.000 d'hectares.

ASPECTS QUALITATIFS DE LA DISPARITION DE LA FORÊT

La disparition de la forêt est régie en quelque sorte par le développement des routes. On peut distinguer trois modes d'accroissement des défrichements cultureux à partir des voies de communication.

a) Les cultures peuvent se développer de plus en plus profondément à partir d'axes routiers déjà anciens. La figure 8 tirée de la photographie 148 de la mission 654/400 de 1966 montre bien ce type d'extension si on la compare à la photographie 286 de la mission NB 30 VII prise dans la saison sèche 1956-57 (fig. 7). On peut également retrouver ce type d'extension sur la photographie 124 de la mission 654/400 de 1966 (fig. 9).

b) Un autre mode d'extension des cultures beaucoup plus caractéristique s'appuie sur le réseau des routes créé par une exploitation forestière sur ses concessions. Ce développement est illustré par les figures 10, 11 et 12 qui représentent en partie les photographies 097, 110 et 353 des missions 650/400 et 654/400 de 1966.

— La figure 10 (photographie 097) montre un réseau routier d'exploitation forestière avec ses routes principales axiales et les routes secondaires qui divergent régulièrement à partir des premières.

— Dans le bas de la partie centrale de la photographie 110 (fig. 11), on peut distinguer les premiers défrichements en bordure des routes d'exploitation forestière, défrichements qui s'étendent déjà sur plusieurs dizaines d'ha (1 cm = 400 m). Ces défrichements sont encore isolés les uns des autres et le massif forestier reste d'un seul tenant.

— Le quadrillage régulier des routes d'exploitation des parties centrale et droite de la photographie 353 (fig. 12) est moins visible que sur les 2 clichés précédents, les zones défrichées de part et d'autre des chaussées lors de la construction de celles-ci ayant été recolonisées par des broussailles et des arbustes. Les défri-

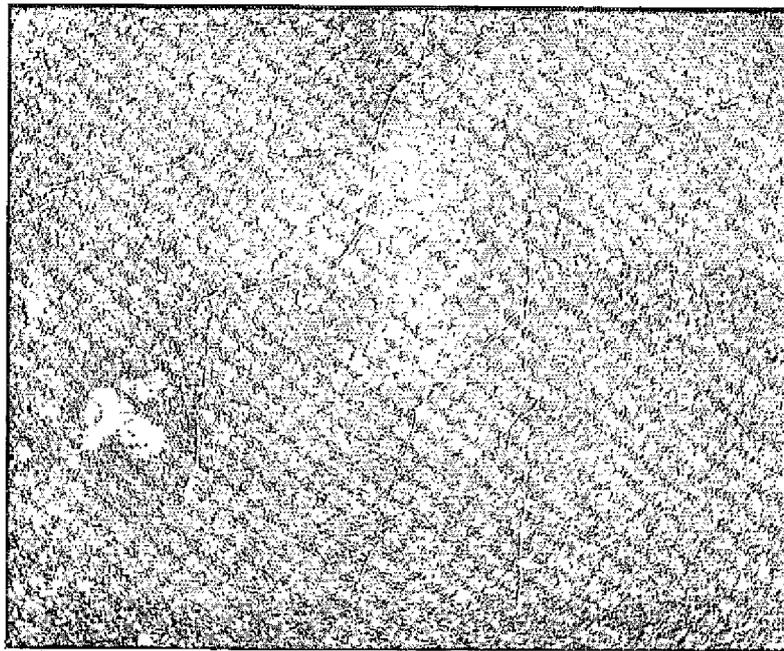


FIG. 10.

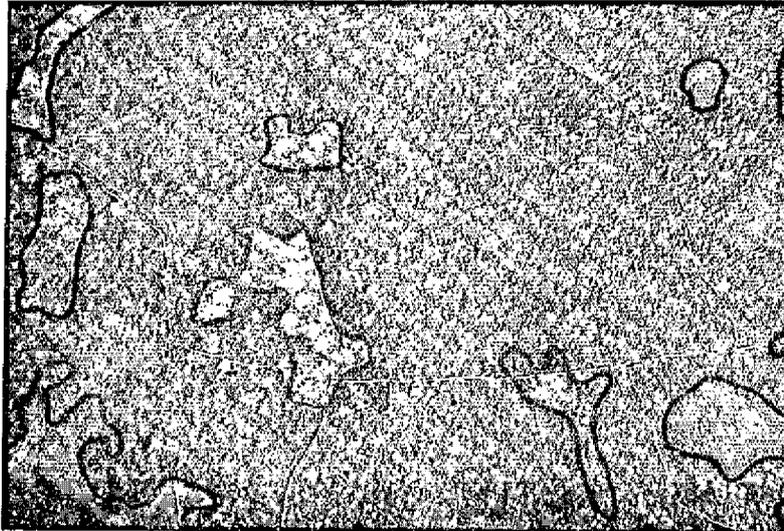


FIG. 11.

FIG. 12.

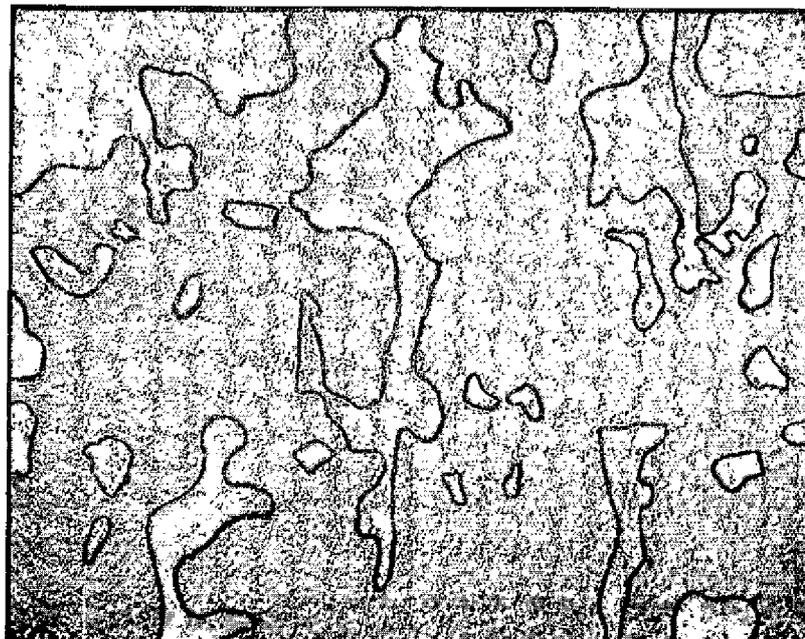


FIG. 10-11-12. — Reproductions partielles des photographies 097, 110 et 353 de la mission 1966 : illustration du processus d'extension de défrichements à partir des réseaux de routes d'exploitation.

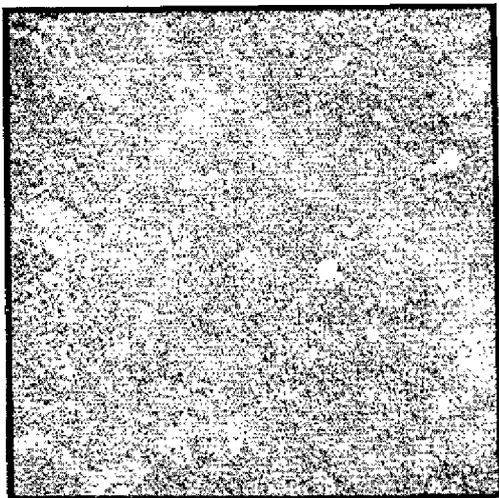


FIG. 13. — *Reproduction partielle de la photographie 189 de la mission I. G. N. NB 29-XVII : des arbres et des petits massifs forestiers occupent les lignes de crête perpendiculaires à la route.*

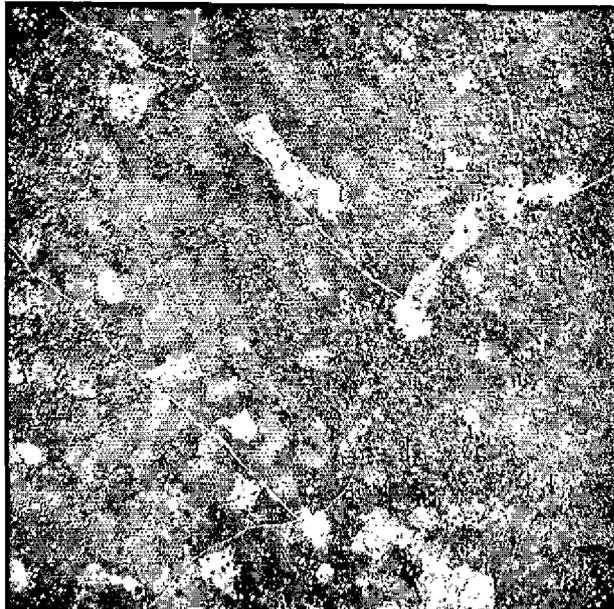


FIG. 14. — *Reproduction partielle de la photographie 346 de la mission 1966 ; même zone que celle de la figure 13 : les routes d'exploitation sont tracées sur les lignes de crête qui perdent le reste de leur couvert forestier.*



FIG. 16. — *Reproduction partielle de la photographie 438 de la mission 1966 : même zone que celle de la figure 15 : une route publique a été ouverte dans le haut et les défrichements se sont étendus sur l'ensemble de la zone.*

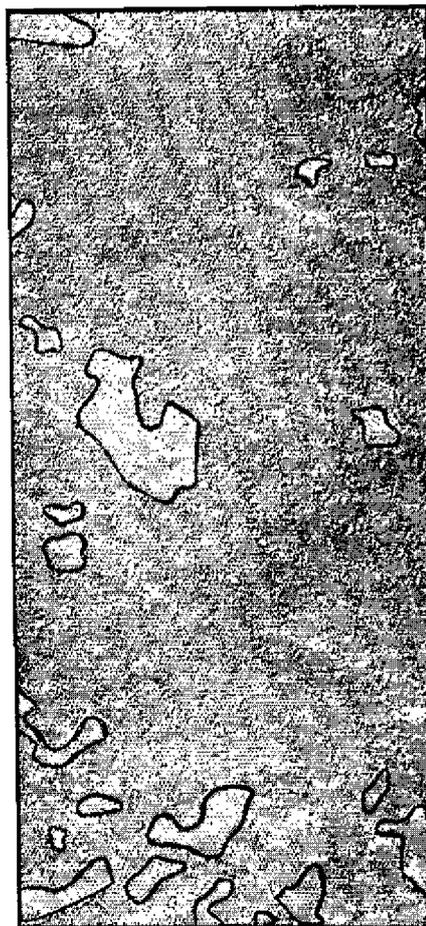


FIG. 15. — *Reproduction partielle de la photographie 117 de la mission I. G. N. NB 30 XV : une seule route publique existe qu'on aperçoit au bas du cliché : les défrichements sont dispersés et peu nombreux.*

chements culturels se rejoignent et le massif forestier n'est plus majoritaire en surface ni d'un seul tenant.

Le réseau d'exploitation forestière peut être formé de routes d'évacuation plus ou moins parallèles qui débouchent sur un axe routier ancien d'intérêt public. C'est le cas dans la photographie 346 de la mission 654/400 prise en 1966 (fig. 14) : les trois routes orientées Nord-Ouest— Sud-Est ont servi à évacuer les bois exploités dans le massif forestier situé dans le coin en haut et à gauche de la photographie. Si on compare cette dernière à la photographie correspondante de 1956 (N° 189 de la mission NB 29 XVIII sur la fig. 13), il ne fait aucun doute que la création de ces trois routes a contribué à compléter le défrichement des lignes de crête secondaires sur lesquelles elles ont été implantées. Les parcelles de

culture qui les bordent en témoignent. Certaines sont déjà abandonnées et recouvertes de broussailles : elles apparaissent avec une teinte plus foncée que celles qui sont encore en exploitation.

c) Enfin, un dernier mode d'extension est dû à la création de nouvelles routes d'intérêt public. Ce cas est plus rare, le kilométrage total des nouvelles routes d'exploitation forestière étant beaucoup plus important que celui correspondant des routes publiques en zone forestière. La photo 438 de la figure 654/400 (fig. 16) montre comment la création de la route Ouest-Est a permis la multiplication et l'extension vers le haut des défrichements auparavant axés sur la route plus ancienne qu'on distingue dans le bas de la figure 15, prise dans la photographie correspondante de 1956 (cliché n° 117 de la mission NB 30 XV).

CONCLUSIONS

La relative modicité des moyens mis en œuvre et la simplicité de la méthode utilisée devraient inciter les responsables à promouvoir régulièrement ce type d'étude. Trop souvent les surfaces occupées par les différentes formations végétales et leur modification dans le temps sont très mal appréciées et risquent de conduire à des conclusions faussées. Les techniques de photo-interprétation et l'utilisation des méthodes statistiques d'estimation permettent maintenant de faire au moindre coût ces évaluations indispensables à la maîtrise de développement économique des pays intéressés. Il est en effet navrant de voir traîner dans de nombreux rapports et projets des chiffres que leur ancienneté rend caduques et dont personne ne met en doute ni l'origine, ni l'actualité ; ces chiffres sont pourtant à la base de travaux par ailleurs très élaborés.

D'autre part, les résultats trouvés devraient pro-

voquer chez tous une réflexion salutaire. Les responsables de la Côte-d'Ivoire ont montré quant à eux qu'ils voulaient remédier à ce grave problème en décidant de délimiter le « domaine forestier » défini par cette étude et en établissant ensuite un projet pour sa mise en défense. Par ailleurs, il reste indispensable non seulement d'apprendre aux paysans de nouvelles méthodes de culture mais encore de faire prendre conscience à tous de l'utilité des forêts. Celle-ci se manifeste dans de très nombreux domaines qui vont de la défense des sols et des équilibres climatologiques au besoin d'arbres et de forêts inhérent au psychisme humain. Aussi serait-il temps que l'Homme cesse de jouer à l'apprenti sorcier et démente enfin cette maxime de Chateaubriand : « Les forêts précèdent les peuples, les déserts les suivent. »

