



Photo Bégué

Madagascar. Forêt dense de la zone orientale de l'île.

TECHNIQUES RÉCENTES EN MATIÈRE D'ÉVALUATION DES RESSOURCES FORESTIÈRES

par J. P. LANLY

*Division des ressources forestières
Département des Forêts, F. A. O.*

SUMMARY

Forest inventory methodology is improving gradually through the application of new techniques in remote sensing and in field sampling. Conventional aerial photography is supplemented by new methods based on the sensing of radiations outside the visible spectrum and the use of spatial platforms and of various types of scanners. Information obtained is recorded not only in the

form of imagery processed or on television screens, but also on magnetic tapes or discs and human photointerpretation is replaced in some cases by more objective automatic procedures (densitometric analysis and automatic data processing). Most of these techniques are still in the experimental stage but some application to forestry is already operational : use of the near infra-red for detection of rees under stress or for species identification (« false colour » imagery), devices sensing the thermal infra-red radiation in forest fire prevention, use of side-looking radar imagery for mapping of tropical forest areas under frequent cloud cover. Some new techniques in field operations are less impressive but are deemed nonetheless very useful : estimation of actually extractable volumes, evaluation of accessibility parameters, statistical techniques for systematic sampling and for integration of field data with those from aerial and spatial imagery.

RESUMEN

TÉCNICAS RECIENTES RESPECTO A LA EVALUACION DE LOS RECURSOS FORESTALES

Los métodos de inventario forestal se mejoran progresivamente debido a la introducción de nuevas técnicas, tanto en el aspecto de la detección a distancia como en el de las operaciones en el suelo. A la fotografía aérea convencional han venido a añadirse nuevos procedimientos fundados en la utilización de plataformas espaciales, el registro de las radiaciones electromagnéticas fuera del espectro visible y la puesta a punto de detectores especiales (« scanners »). Los datos obtenidos son reproducidos, no solamente en forma de negativos revelados o en pantalla de televisión, sino también en soportes magnéticos, y la fotointerpretación humana es sustituida, en ciertos casos, por procedimientos automatizados más objetivos (análisis densitométrico y proceso de datos obtenidos en computador electrónico). La mayor parte de estas innovaciones se encuentra todavía en la etapa experimental, pero algunas aplicaciones son ya operacionales en el aspecto forestal : utilización del infrarrojo cercano para la detección de árboles en mal estado o la identificación de ciertas especies fotografías « falsos colores dispositivos que captan las radiaciones del infrarrojo « térmico » para la prevención de incendios de bosque, utilización de las radiaciones radar para la cartografía de zonas forestales tropicales, frecuentemente cubiertas de nubes. Ciertas innovaciones en las operaciones en el suelo de los inventarios forestales son menos espectaculares, pero constituyen, no obstante, sumo interés : estimación de los volúmenes comercializables, evaluación de los parámetros de accesibilidad, técnicas estadísticas adaptadas a los dispositivos de muestreo sistemático o a la integración de los datos, proporcionados por los sondeos en el suelo, a aquéllos proporcionados por las fotografías aéreas y espaciales.

INTRODUCTION

Il est superflu de s'étendre longuement sur le rôle des inventaires forestiers notamment en matière de développement économique : la connaissance des ressources forestières est en effet un préalable indispensable à toute action visant à leur mise en valeur rationnelle. Ceci est encore plus vrai pour les nombreux pays forestiers tropicaux dont le bois constitue une ressource naturelle importante. Les programmes d'évaluation des ressources forestières ont connu depuis la dernière guerre mondiale un développement considérable aussi bien dans les pays de la zone tempérée — parmi lesquels nombreux sont ceux qui ont entrepris des inventaires à l'échelle nationale — que dans les pays de la ceinture tropicale : dans ces derniers pays, de nombreuses opérations d'inventaire forestier surtout à l'échelle locale et régionale, mais parfois aussi à l'échelle nationale (Côte-d'Ivoire, Malaisie) ont été menées à bien, la plupart du temps dans le cadre de conventions d'assistance bilatérale ou multilatérale. En Afrique tropicale francophone notamment la liste est longue des inventaires déjà réalisés ou en cours d'exécution par le Centre Technique Forestier Tropical.

Dans le domaine de l'évaluation des ressources forestières, comme en bien d'autres, les méthodes utilisées varient énormément suivant les objectifs assignés aux opérations d'inventaire. A la limite

il y a peu de points communs entre l'inventaire à 100 % par « prospection méthodique » réalisé par un exploitant forestier dans son permis et un inventaire forestier à l'échelle nationale. Si certains objectifs sont les mêmes — comme par exemple la connaissance du volume effectivement commercialisable de quelques essences — il est bien évident que les questions auxquelles doit répondre l'évaluation des ressources forestières à l'échelle nationale sont à la fois plus nombreuses et plus complexes : en particulier une telle opération doit permettre de fournir des statistiques acceptables pour différents types d'utilisateurs en même temps et donner des renseignements qui n'intéressent pas toujours directement un utilisateur pris isolément : nombres des jeunes tiges des essences désirables, accessibilité des zones, statistiques sur l'occupation des sols, etc.

Non seulement les techniques utilisées varient suivant les objectifs assignés à l'inventaire, mais encore elles évoluent dans le temps. Les outils — au sens le plus général du terme — dont dispose l'inventariste se perfectionnent et de nouveaux sont créés pour répondre plus adéquatement aux objectifs. Le propos de cet article est de passer en revue les récents apports techniques intervenus dans ce domaine ces dernières années.

Pour faciliter cette étude nous considérerons

d'une manière quelque peu schématique que la procédure générale d'un inventaire forestier se compose de deux démarches principales :

— L'évaluation des surfaces forestières, après stratification de la zone inventoriée en « types de forêt » : ceci se fait généralement par analyse des documents fournis par les détecteurs à distance (1) : le détecteur à distance le plus utilisé pour l'instant est l'appareil photographique monté à bord d'un avion, le document fourni par cet appareil étant la photographie aérienne ;

— L'estimation des paramètres moyens à l'unité de surface caractérisant les types de forêts étudiés : cette estimation se fait habituellement à partir des données recueillies par sondages au sol.

Avant d'aller plus loin il importe de souligner que cette division, commode pour l'exposé, ne doit pas être prise à la lettre. Si elle s'avère relativement justifiée en ce qui concerne les inventaires de forêt tropicale tels qu'ils sont pratiqués actuellement, elle est par contre en défaut dans de nombreux cas d'inventaires de forêts tempérées. Ainsi

au Canada par exemple surfaces et paramètres sont parfois estimés à partir des seules photographies aériennes, quelques vérifications au sol étant destinées à corriger éventuellement l'estimation des paramètres. Par ailleurs les sondages au sol peuvent également corriger les estimations de surface faites à partir des photographies aériennes pour tenir compte des erreurs de photointerprétation ou de celles provenant de l'ancienneté des documents photographiques. Comme on peut le supposer, les recherches en matière d'inventaire forestier tendent à la réduction progressive des sondages au sol particulièrement coûteux et à leur remplacement par la détection à distance. Disons tout de suite qu'en ce qui concerne les inventaires de forêt tropicale hétérogène cette tentative se heurte à des obstacles particulièrement durs à surmonter : difficulté de l'identification des espèces, de l'appréciation de la hauteur et surtout de la qualité des fûts, mauvaise corrélation entre le diamètre du fût et le diamètre des houppiers, etc... Les sondages au sol restent, pour sans doute une dizaine d'années au moins, la composante la plus importante, par le coût et par la quantité d'information fournie, des inventaires de forêt tropicale hétérogène.

TECHNIQUES RÉCENTES EN MATIÈRE D'ÉVALUATION DES SURFACES

PRÉSENTATION RAPIDE DE CES TECHNIQUES

Nouvelles formes de la détection à distance (« remote sensing »).

Le forestier a été un des premiers utilisateurs de la photographie aérienne, et celle-ci continue à lui rendre d'incalculables services notamment en matière d'évaluation des surfaces. Le principe des photographies aériennes panchromatiques conventionnelles peut être énoncé de la manière suivante : elles reproduisent grâce à une pellicule recouverte d'une émulsion de grains de sel d'argent l'intensité relative des radiations électromagnétiques naturelles de l'ensemble des bandes du spectre visible (ensemble éventuellement limité par un filtre), l'appareil photographique se trouvant à bord d'un avion.

Les innovations en matière de détection à distance par rapport à la photographie aérienne panchromatique habituelle portent sur l'une ou sur plusieurs à la fois des caractéristiques soulignées dans la définition précédente.

AVION ET NOUVELLES PLATEFORMES.

a) Le lancement et la mise sur orbite terrestre d'un satellite (habité ou inhabité) est maintenant devenu une opération banale. Si de plus, sur ce satellite, sont installés des détecteurs à distance (appareils de prises de vues ou « scanners ») et d'autres appareils capables d'emmagasiner ou de transmettre les images ou « signaux » recueillis (système de télévision, reproduction des signaux sur bande magnétique), on peut alors disposer d'images photographiques, télévisées ou encore de données sur support magnétique correspondant

(1) En anglais « remote sensors ».

aux radiations reçues des zones survolées. Les images obtenues ont des avantages :

— elles permettent de couvrir en un seul cliché une très grande zone (de l'ordre de 2 à 3 millions d'ha pour des clichés 70 mm × 70 mm à l'échelle du 1/2.500.000^e) ;

— les distorsions dues au relief sont négligeables et le cliché a la valeur planimétrique d'une carte.

Par contre elles ont un inconvénient majeur qui est celui de leur faible « résolution au sol » (1) qui correspond à une distance en général supérieure à 80 m. La hauteur de prise de vues constitue un facteur limitant de la résolution au sol, mais celle-ci dépend également de la nature de l'image obtenue. Si la photographie est directement obtenue à partir de l'impression d'une pellicule sensible, la résolution au sol dépendra aussi de la finesse du grain de l'émulsion. Par contre elle sera fonction de l'intensité du balayage par les « scanners » du système de télévision employé dans le cas d'une utilisation de ces dispositifs, sur les satellites non habités notamment.

b) A l'opposé, des expériences ont été menées au Canada de photographies à très grande échelle (1/1.500 et supérieures) à partir d'hélicoptères ou de petits avions de tourisme destinés à différencier certaines espèces entre elles (par exemple le *Picea glauca* et *Abies balsamea*), à quantifier les dégâts causés par des épidémies et attaques d'insectes et à évaluer les caractéristiques du potentiel des forêts grâce à des mesures photogrammétriques et des tarifs de cubage « aériens », spécialité dans laquelle les forestiers canadiens sont des maîtres incontestés.

Des expériences ont été faites en forêt tropicale américaine pour l'identification des espèces. Le problème le plus difficile a été de mettre au point un système altimétrique très précis, la mesure très exacte de la hauteur de l'appareil au sol étant

(1) C'est-à-dire la dimension du plus petit objet détectable sur l'image pour un contraste donné.

indispensable pour avoir une bonne estimation de l'échelle et par suite des données photogrammétriques suffisamment exactes : les premiers altimètres utilisés opéraient à partir de radiations radar qui ne transperçaient pas toute la couverture végétale.

SPECTRE VISIBLE ET AUTRES RADIATIONS ÉLECTROMAGNÉTIQUES.

Le tableau suivant tiré du livre « Remote Sensing, with special reference to Agriculture and Forestry » indique les intervalles de longueur d'onde et de fréquence des différentes radiations électro-magnétiques ainsi que les détecteurs correspondants utilisés pour l'étude des ressources naturelles.

Les photographies panchromatiques utilisent la réflexion par les objets des radiations électromagnétiques du spectre visible de longueur d'onde comprise entre 0,38 μ et 0,78 μ . La véritable innovation dans le domaine de la détection à distance, moins spectaculaire certes que l'emploi des plateformes spatiales, a été l'utilisation d'intervalles de radiations autres que ceux du spectre visible.

L'utilisation de la partie du *proche infrarouge* de 0,78 μ à 0,90 μ en association avec les radiations visibles de 0,5 μ (ou 0,6 μ) à 0,78 μ est maintenant ancienne. L'Institut Géographique National, depuis 1955 en France et 1957 Outre-Mer a produit des photographies aériennes infrarouge en noir et blanc. Les premiers essais de photographie aérienne infrarouge couleurs (ou « fausses-couleurs ») furent réalisés par l'armée américaine durant la deuxième guerre mondiale. Pour le forestier les trois avantages de ces émulsions sont les suivants :

— pouvoir de pénétration plus grand permettant « dans certaines conditions atmosphériques une représentation plus contrastée des objets lointains » (en cas de brume sèche en particulier sous les tropiques) ;

— meilleure séparation des feuillus et conifères, la différence de réflectivité entre ces deux groupes étant accrue par l'adjonction des radiations de 0,78 μ à 0,9 μ de longueur d'onde ;

Zone spectrale		Longueur d'onde	Systèmes de détection couramment utilisés
Radiations radar	Décimètre Centimètre Millimètre	10-100 cm 1-10 cm 0,1-1 cm	Antennes balayuses (réceptrices et éventuellement aussi émettrices).
Radiations infra-rouges	IR lointain IR intermédiaire	8-1.000 μ 3-8 μ	Scanners avec détecteurs IR.
	Proche IR	0,780-3 μ	Photographie jusqu'à 1 μ . Scanners avec détecteurs IR.
Radiations ultra-violettes	Proche UV Moyen UV	0,315-0,380 μ 0,280-0,315 μ	Photographie (lentille de quartz). Scanners avec détecteurs photo-électriques.

— détection préventive des arbres malades, avant que l'attaque soit visible à l'œil nu, par l'utilisation des radiations du proche infrarouge.

L'utilisation de l'infrarouge « thermique » (3-14 μ), radiations émises en plus grande quantité par des corps plus chauds, est particulièrement adaptée à la détection des feux latents, des maladies et des attaques d'insectes subies par la forêt (lesquelles entraînent un léger échauffement de la végétation).

L'utilisation de radiations radar entre 0,5 cm à 1 m et plus particulièrement entre 0,86 cm et 3,3 cm, lesquelles ont le grand avantage de ne pas être arrêtées par les formations nuageuses et d'être relativement peu atténuées par la pluie s'avère très intéressante dans les régions tropicales où une couverture photographique conventionnelle est très longue à réaliser du fait de la permanence d'un plafond nuageux assez bas.

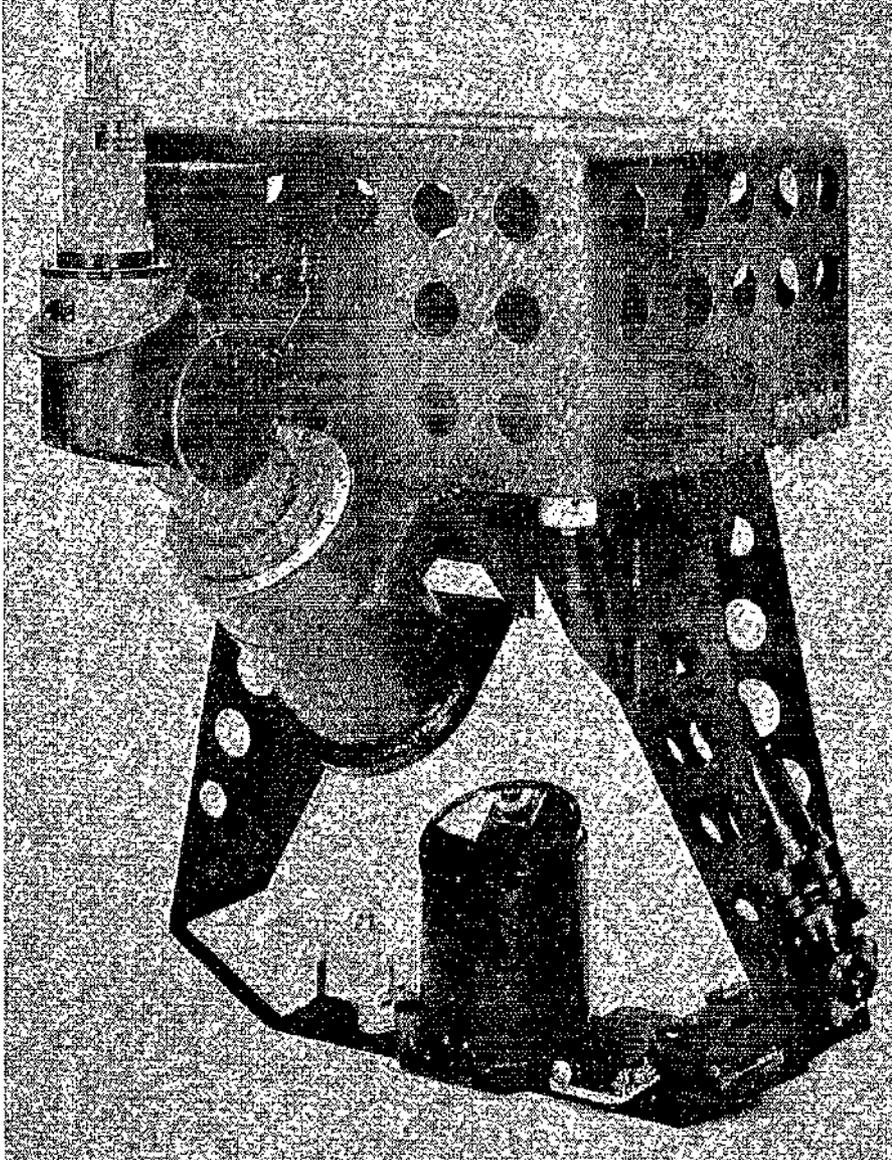
APPAREIL PHOTOGRAPHIQUE ET « SCANNERS ».

L'utilisation de nouvelles radiations et les nécessités d'une retransmission automatique et continue (notamment à partir des satellites non habités) ont développé l'utilisation de « scanners (1) ». Un scanner simple est constitué d'un dispositif optique (en général miroir rotatif associé à un miroir parabolique) et d'un détecteur transformant en signaux électriques les variations d'intensité des radiations d'une certaine bande du spectre (à l'instar d'une cellule photo-électrique) : grâce au mouvement de son système optique et au mouvement de l'avion, le « scanner » balaye par bandes parallèles contiguës la scène à observer. Les signaux électriques sont, ensuite, reçus dans un tube à rayons cathodiques pour être visualisés sur un écran de télévision ou être imprimés sur une pellicule sensible. Ils peuvent également être transcrits sur une bande magnétique et être ensuite traités sur ordinateur.

RADIATIONS NATURELLES ET RADIATIONS ARTIFICIELLES.

Les radiations utilisées dans les photographies

(1) Du verbe anglais « to scan » qui signifie examiner et qui peut se traduire, en matière de détection à distance, par balayer (au sens de ce verbe auquel il est fait référence dans l'expression « balayage d'une image »).



conventionnelles sont des radiations naturelles réfléchies par l'objet photographié et qui proviennent principalement du soleil soit directement soit indirectement par l'intermédiaire d'autres objets ayant répercuté ces radiations par réflexion ou « transmission ». Certains systèmes de détection à distance (dispositifs radar « actifs ») utilisent des radiations émises spécialement (« artificielles ») et réfléchies par les objets photographiés. Ces systèmes peuvent ainsi détecter sans difficulté pendant la nuit.

SÉLECTION DES BANDES.

Un autre élément important dans le domaine de la détection à distance est la réception séparée des radiations reçues par bande de longueur d'onde. L'intérêt d'isoler certaines bandes du spectre est évident : ainsi deux objets qu'il est utile de différencier peuvent réfléchir avec une même intensité globale l'ensemble des radiations du spectre visible tout en réfléchissant avec des intensités très différentes une bande donnée du spectre visible : on

les distinguera ainsi beaucoup mieux sur une image reproduisant la réflexion par eux des radiations de cette bande. On dira que leur « signature » ou leur réponse par rapport à cette bande est différente.

L'application du principe de la sélection des bandes n'est pas nouveau : le filtre jaune destiné à arrêter les radiations de longueur d'onde inférieure à $0,50 \mu$ est un exemple de sélection puisqu'elle revient à sélectionner la bande $0,50 \mu$ à $0,78 \mu$ du spectre visible. De même la photographie couleur classique implique cette sélection puisque dans ces émulsions une couche jaune reçoit les radiations de $0,38 \mu$ à $0,48 \mu$, une couche magenta celle de $0,50 \mu$ à $0,58 \mu$, une couche cyan de $0,60 \mu$ à $0,68 \mu$, les 3 images étant superposées (à la différence du film panchromatique noir-et-blanc où une seule image est constituée). Un exemple intéressant de film couleur est celui utilisé en Russie (film « spectrozonal ») dont l'émulsion n'a que deux couches seulement et qui s'est avéré très utile en matière forestière.

La sélection séparée des bandes s'opère essentiellement de deux manières nouvelles :

— par des ensembles de plusieurs appareils photographiques (jusqu'à 27 dans un cas) ou encore par des appareils à plusieurs objectifs : chacun des appareils (ou chacun des objectifs) correspond à une combinaison donnée émulsion-filtre ; le système permet ainsi d'obtenir des images simultanées différentes de la même scène, correspondant chacune à une bande donnée du spectre ;

— par un système équivalent où l'appareil photographique est remplacé par un détecteur : plusieurs détecteurs opèrent ensemble, chacun reproduisant les radiations émises par les différentes parties de l'objet dans une bande déterminée du spectre. C'est le système dit « multispectral line scanner ». Il est constitué par un seul dispositif optique faisant converger l'ensemble des radiations sur un prisme qui les disperse suivant leur longueur d'onde : le faisceau obtenu passe ensuite au travers d'un certain nombre de détecteurs sensibles chacun à une bande donnée du spectre et les signaux reçus sont alors transformés soit en image télévisée, soit en image photographique (dans ces deux cas par l'intermédiaire d'un tube à rayons cathodiques) soit encore en informations stockées sur un support magnétique.

Nouvelles formes de reproduction des informations recueillies.

Jusqu'à présent les informations recueillies ont été rassemblées sous la forme de photographies en noir-et-blanc ou couleurs sur support opaque ou transparent, en négatif ou en positif, directement issues par simple réaction chimique (révélateur

sur émulsion) de la pellicule impressionnée. Pour longtemps encore et pour une grande part de son travail, le forestier continuera à utiliser ce type de support d'information.

La grande innovation dans le domaine de la reproduction est l'utilisation du tube à rayons cathodiques. Les informations électriques transmises par un détecteur sont transformées par le tube en informations lumineuses. C'est le principe de la télévision appliqué à l'enregistrement de radiations qui ne sont pas limitées au seul spectre visible. La représentation obtenue peut être donc une image en noir-et-blanc ou en couleurs sur un écran de télévision mais cette image peut être directement obtenue par impression d'une pellicule à la sortie du tube. C'est ainsi qu'on obtient des clichés en noir-et-blanc à partir de la détection de radiations de l'infrarouge thermique ou de radiations « radar ». Ces mêmes clichés peuvent être traduits en images en couleurs de convention codées, chaque nuance de gris correspondant à une teinte et une nuance dans cette teinte, ce qui permet des différenciations à l'œil nu impossibles sur le cliché noir-et-blanc correspondant. Enfin les impulsions électriques à la sortie du « scanner » peuvent être répertoriées sur des bandes ou des disques magnétiques

Nouveaux procédés d'analyse des informations recueillies.

L'analyse des photographies aériennes conventionnelles — ou « photo-interprétation » — utilise l'œil et le cerveau humains, aidés par des appareils optiques (appareils grossissants, stéréoscopes). Malgré les grandes faiblesses de l'interprétation humaine, ce type d'analyse continuera à se faire aussi bien sur les clichés conventionnels que sur les clichés en noir et blanc ou couleurs correspondant à des radiations en dehors du spectre visible.

Un dispositif simple permettant d'améliorer l'interprétation humaine des clichés obtenus est la **projection simultanée**. Elle consiste, par un système de projection multiple, à projeter sur un même écran les images positives transparentes en noir-et-blanc d'une même scène obtenues chacune à partir d'une bande de longueur d'onde donnée, chaque projection étant faite avec un filtre couleur particulier. Le résultat obtenu est une image en « fausses couleurs ». L'intérêt de ce dispositif est que les différentes nuances de gris sont transformées en un nombre beaucoup plus grand de différences de couleurs et de nuances dans chaque couleur. En modifiant les filtres on peut obtenir l'image en « fausses couleurs » qui rend le mieux la différence entre deux objets non discernables sur les clichés noir-et-blanc.

L'analyse microdensitométrique consiste à transcrire sur un graphique les variations d'inten-

sité lumineuse d'un spot lumineux ayant traversé un cliché transparent. Le système opère grâce à un détecteur transformant en impulsions électriques les variations d'intensité lumineuse, les impulsions étant amplifiées et transmises à un stylet sur un graphique. Un type de couronne d'arbre peut être ainsi reproduit par une certaine forme de courbe. On imagine les perspectives offertes par cette technique : si l'on rentre en ordinateur le type de courbe correspondant à une essence donnée avec les fluctuations tolérées, il devient possible, le dispositif microdensitométrique étant relié à l'ordinateur, de compter (et de faire des calculs sur) le nombre de cimes correspondantes rencontrées.

D'une manière plus générale l'introduction en ordinateur des supports magnétiques stockant l'ensemble des informations relatives aux signaux électriques produits par des « scanners » détectant les radiations provenant de la scène observée (ou d'une image photographique de celle-ci) permet un traitement automatique (et objectif) de l'information ainsi recueillie. L'ordinateur pourra ainsi, s'il a enregistré également les données de la trajectoire de l'avion, permettre le repérage des points chauds observés par le détecteur infrarouge thermique. Il pourra comparer les « signatures » des objets étudiés avec des signatures caractéristiques conservées en mémoire, afin d'identifier les objets en question. On conçoit aisément la supériorité dans de nombreux cas de ce traitement des signaux recueillis et amplifiés sur l'interprétation humaine, surtout en dehors du spectre visible où les clichés obtenus ont une faible ressemblance avec les images visuelles auxquelles nous sommes habitués.

APPLICATIONS FORESTIÈRES DÉJÀ OPÉRATIONNELLES DE CES NOUVELLES TECHNIQUES.

Les combinaisons possibles de ces différentes innovations sont bien sûr très nombreuses et un champ immense d'application leur est ouvert dans le domaine de l'évaluation des ressources naturelles. A l'heure actuelle les applications en matière forestière et d'étude de la végétation sont pour une large part à l'état de recherche et d'expérimentation. D'une manière générale leur mise en œuvre, même lorsqu'il ne s'agit pas d'observations spatiales, suppose une infrastructure technologique et des moyens financiers qui ne sont pas à la portée de tous les instituts et même de tous les gouvernements. Dans les paragraphes qui suivent on se borne à indiquer quels sont les procédés accessibles et/ou opérationnels dans le domaine de l'évaluation des ressources forestières.

L'orthophotographie.

Une technique nouvelle est née en matière de restitution à partir des photographies aériennes. Elle consiste, à partir d'un stéréogramme, à reproduire photographiquement et sans distorsion géographique la portion de terrain commune aux deux photographies du stéréogramme. L'orthophotographie est donc une restitution photographique, au lieu de la restitution cartographique classique aboutissant aux cartes topographiques. L'ensemble des orthophotographies correspondant à une région donnée, peuvent donc être accolées les unes aux autres et forment ce qu'on appelle un orthophotoplan ayant la même valeur planimétrique qu'une carte. Sur cette carte photographique peuvent être reproduites automatiquement des lignes tracées sur les stéréogrammes — comme des limites de types de forêt par exemple — et bien entendu les courbes de niveau. La restitution des limites forestières peut se faire également sous stéréoscope à partir du stéréogramme constitué de la photographie maquillée et de l'orthophotographie correspondante.

Le principal intérêt de ce dispositif est qu'il permet une cartographie plus complète et plus concrète que la cartographie habituelle. Un autre avantage est la relative rapidité d'exécution, dix fois plus grande environ que celle des cartes classiques. Son prix reste cher : ainsi la restitution par orthophotographie de la partie utile d'un cliché 24 x 24 coûte entre 300 et 550 FF, le prix dépendant de l'échelle et de la quantité d'informations complémentaires à restituer (limites de types de forêts par exemple). Si l'on ajoute à cela la restitution des courbes de niveau le coût oscille entre 650 et 1.000 FF environ.

Utilisation des radiations en dehors du spectre visible.

UTILISATION DES RADIATIONS DU PROCHE INFRA-ROUGE.

L'innovation relativement récente en Europe occidentale et dans les pays tropicaux est l'utilisation des photographies infrarouge couleur (« fausses couleurs ») en matière forestière. Le C. T. F. T. est à même d'indiquer ce que ce procédé a apporté en Afrique de l'Ouest pour l'identification de certaines essences commerciales. Au Pérou une étude expérimentale à partir des radiations du visible et de l'infrarouge utilisant une procédure d'analyse microdensitométrique automatisée

a permis une stratification objective en types de forêts.

La « fausse couleur » est utilisée opérationnellement aux Etats-Unis depuis plusieurs années pour la détection de certaines maladies et attaques d'insectes subies par les peuplements forestiers. En Inde ce procédé est utilisé pour l'étude de la maladie virale des cocotiers (*Chenopodium amaranticolor*).

UTILISATION DES RADIATIONS DE L'INFRAROUGE THERMIQUE.

Plusieurs systèmes de détection avancée des feux de forêts existent aux Etats-Unis. Le plus perfectionné utilise un avion volant à l'altitude de 7.000 m et transportant un « scanner » enregistrant les radiations IR de 3 à 6 μ et de 8 à 14 μ . Les signaux électriques correspondant aux radiations de 8 à 14 μ sont transmis à un tube à rayons cathodiques pour impressionner en continu une pellicule dont le développement est réalisé très rapidement. Le faisceau des radiations de 3 à 6 μ est utilisé pour signaler le point chaud au moment où celui-ci est détecté. Un calculateur intégrant les données de l'itinéraire de l'avion (vitesse terrestre, altitude, orientation, dérive) détermine la vitesse de déroulement du film et inscrit en bordure de celui-ci une marque à la verticale de chaque unité de longueur parcourue. L'observation des photographies obtenues permet de localiser les points chauds et d'intervenir avant que le feu ne se développe.

UTILISATION DES RADIATIONS RADAR.

Un dispositif radar « actif » (c'est-à-dire enregistrant le faisceau réfléchi par les objets au sol des radiations émises par lui-même) a été utilisé avec succès dans la zone de forêt dense tropicale américaine (au Nicaragua, dans le Sud-Est de Panama et dans le Nord-Ouest de la Colombie), et a permis de cartographier des zones couvertes en permanence par un plafond nuageux assez bas. Une opération très importante analogue est actuellement en cours dans le Nord-Ouest de l'Amazonie brésilienne.

Le principe de base est toujours le même à savoir un « scanner » (dans ce cas une antenne) balayant par bandes transversales à la direction du vol le terrain observé, les signaux électriques étant introduits dans un tube à rayons cathodiques qui impressionne en continu un film. Une particularité de ces dispositifs est à noter : la bande photographiée ne se trouve pas à la verticale de l'avion mais sur le côté (« side-looking radar »), afin de permettre une meilleure détermination de la distance au sol à partir des mesures chronométriques.

L'échelle originale des clichés obtenus au Panama est de l'ordre de 1/200.000^e. Ils ont permis dans la région Sud-Est (partie Sud de la province de Darien) une cartographie planimétrique satis-

faisante au 1/250.000^e et la cartographie de la végétation par grandes classes. Les bornes astronomiques ayant permis la cartographie étaient constituées de petites pyramides métalliques dégagées de toute végétation, de coordonnées connues et facilement repérables sur les clichés radar.

Le seul inconvénient actuel de l'imagerie radar est l'absence de vision stéréoscopique, l'enregistrement étant fait en continu sans recouvrement entre deux clichés voisins. Ceci interdit la stratification des types de peuplements suivant la hauteur de l'étage dominant, classification souvent utile au forestier. Néanmoins le développement rapide de ce procédé au-dessus des zones de forêt tropicale doit inciter le forestier à essayer d'en tirer le meilleur profit.

Utilisation des plateformes spatiales.

Plusieurs milliers de satellites ont déjà été lancés à des fins diverses (observations météorologiques, transmissions intercontinentales, études des radiations, etc.). Dans le domaine de l'évaluation des ressources naturelles des informations provenant de certains vols tels les vols Gemini et Apollo ont permis des études particulières. Un grand pas vient d'être franchi le 23 juillet dernier par le lancement aux Etats-Unis d'un satellite destiné à l'observation des ressources naturelles de la planète, satellite nommé ERTS-A (ERTS comme Earth Resources Technology Satellite).

LE VOL ERTS-A.

Les caractéristiques de ce vol sont les suivantes :

- durée de vie = 1 an,
- altitude = 920 km sur une orbite synchrone avec le soleil,
- couverture répétée de la même zone tous les 18 jours,
- distance terrestre entre deux passages = 160 km,
- détecteurs à bord du satellite :
 - un système de télévision (RBV) enregistrant des images dans trois bandes du spectre visible et la partie infrarouge ;
 - un « scanner » multiple (MSS) enregistrant dans quatre bandes du spectre visible et de l'infrarouge : les signaux électriques sont codés et enregistrés sur bande.

L'échelle des clichés originaux obtenus (70 mm) — pour chacune des bandes obtenues et aussi pour les images composées couleur — est environ de 1/2.500.000^e. Chaque cliché correspond à un carré de 160 km de côté soit 25.600 km². La résolution au sol des clichés varie entre 60 et 150 m suivant le contraste de la scène étudiée et le détecteur considéré. Le recouvrement longitudinal et latéral est faible et de l'ordre de 15 %.

Une quarantaine de gouvernements et des organisations internationales disposeront, conformé-

ment à un contrat passé avec la NASA, des informations fournies par ce satellite, à charge pour eux de tenir cet organisme au courant des recherches et des résultats obtenus. Pour sa part la F. A. O. a demandé des clichés noir et blanc correspondant aux sept bandes détectées sur trois pays, la Colombie, une bande Ouest-Est au Soudan et les Philippines, à différentes époques de l'année, et se propose de les évaluer dans les différents domaines de l'agriculture et des forêts.

Les utilisateurs américains quant à eux bénéficieront également des informations fournies sur les zones étudiées dans leur pays simultanément par des détecteurs à bord d'avions donnant des clichés à une échelle beaucoup plus grande.

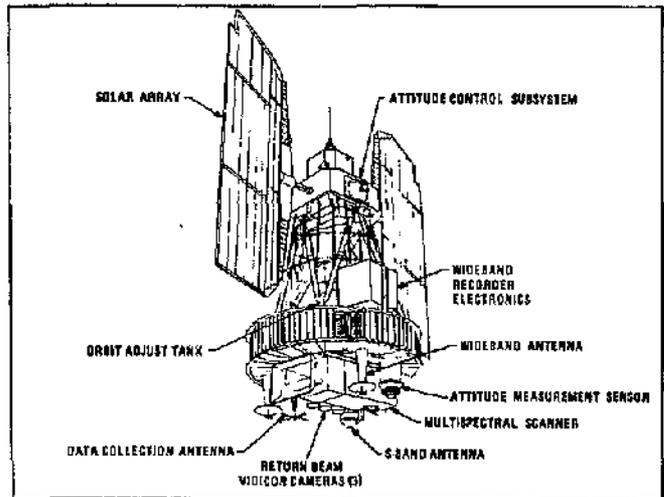
Un autre satellite analogue ERTS-B sera lancé en 1973 et la NASA envisage également pour 1973 un programme de vol habité (SKYLAB) qui permettra lui aussi l'étude des ressources naturelles.

LE PROGRAMME MONDIAL DE CONTRÔLE DE LA COUVERTURE FORESTIÈRE.

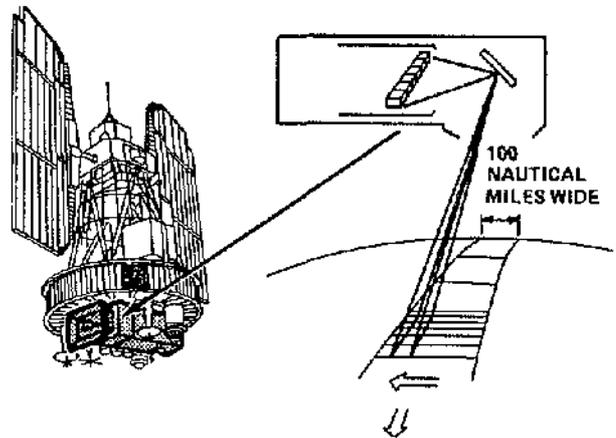
A la conférence de Stockholm sur l'environnement, l'idée a été proposée et retenue d'un contrôle permanent des surfaces forestières. Malgré le rôle fondamental en matière de protection qui est reconnu à la forêt, la couverture forestière se dégrade à une vitesse inquiétante dans certaines régions tropicales. Il convient donc de suivre cette évolution, de la chiffrer à intervalles réguliers afin de permettre d'en prévoir les conséquences, et d'alerter en connaissance de cause les gouvernements et organisations intéressés. Au cas où cette idée se concrétiserait, nul doute que les informations recueillies à bord des satellites seraient très utiles à cette étude, à condition bien sûr de les utiliser en combinaison avec les données obtenues à partir des photographies aériennes conventionnelles.

NOUVELLES TECHNIQUES EN MATIÈRE D'ÉVALUATION DES PARAMÈTRES CARACTÉRISTIQUES DES PEUPELEMENTS

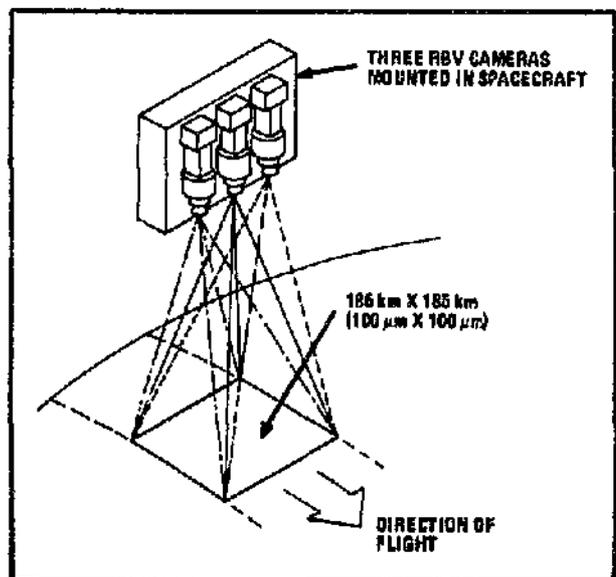
Dans ce domaine l'évolution est moins spectaculaire car au lieu de reposer sur des innovations technologiques aussi nombreuses que prometteuses, elle est simplement le reflet d'un meilleur ajustement des inventaires forestiers à leurs objectifs économiques, et d'une application plus élaborée des théories statistiques au problème des sondages forestiers.



ERTS Satellite



Multispectral Scanner



Return Beam Vidicon Cameras

(Ces trois croquis, d'après Bendix Aerospace Systems Division)

MEILLEUR AJUSTEMENT DES INVENTAIRES FORESTIERS A LEURS OBJECTIFS ÉCONOMIQUES.

Estimation des volumes utiles.

A l'instar de ce qui se faisait en Europe les premiers inventaires forestiers tropicaux à grande échelle ont surtout visé à l'estimation la plus précise des volumes bruts. Ce qui dans les forêts tempérées européennes intensivement aménagées et exploitées en permanence pouvait se concevoir n'est pas en fait transposable sous les tropiques où les forêts sont souvent exploitées pour la première fois et non aménagées. Depuis plusieurs années cependant les inventaristes ont porté une attention plus grande à l'estimation des volumes utiles. On peut schématiquement les ranger en deux « écoles ».

— La première vise à l'estimation la plus précise d'un (ou de plusieurs) « volume net » qui est une réduction du volume brut tenant compte d'une réfaction basée sur les défauts extérieurs et parfois aussi intérieurs (lorsqu'il y a abattage d'un échantillon d'arbres et/ou percement du tronc des arbres sur pied à la tarière électrique pour la détection des pourritures au pied) ; la réfaction ainsi opérée obéit à certaines règles établies en fonction des usages locaux de l'exploitation et/ou de conventions raisonnables : épaisseur trop faible de bois entre la pourriture interne et l'écorce, longueur trop forte de cannelures sur la première section de l'arbre, longueur trop faible d'une partie sans défauts, etc....

— La seconde, plus concrète se propose, par une étude d'utilisation (expression traduite par « récolement » au C. T. F. T.) faite sur des chantiers d'exploitation, de déterminer par essence importante le pourcentage du volume brut qui est effectivement sorti du chantier et commercialisé (« volume commercialisable »), après avoir stratifié (au sens statistique du terme) le volume brut sur pied en fonction de l'analyse des

défauts extérieurs et éventuellement intérieurs.

Malgré le coût et les difficultés de cette deuxième méthode, et la précarité des résultats obtenus (inhérente aux variations des marchés, local et d'exportation, aux modifications des conditions d'exploitation, etc.) nous pensons que cette approche répond mieux à la question posée par les économistes qui ne connaissent pas la relation entre le « volume net » et le volume effectivement commercialisé. En cas de contestation des résultats donnés par la deuxième méthode, il est toujours loisible de revenir aux volumes bruts et de déterminer soi-même le « coefficient de commercialisation » permettant de calculer le « volume commercialisable ».

Estimation des conditions d'accessibilité.

L'inventariste est le seul à véritablement parcourir la forêt avant sa mise en exploitation. Par ailleurs le coût d'un inventaire est pour une large part un coût logistique (accès aux unités de sondage et implantation de celles-ci). Il serait dommage que l'inventariste ne cherche pas à ramener des informations utiles pour l'évaluation du coût d'extraction des bois. Certaines font partie des résultats proprement dits de l'inventaire : diamètre moyen des arbres, hauteur moyenne, fréquences. D'autres, par contre, ne sont pas directement liées aux potentiels : information sur les pentes (valeur, longueur), sur la nature du terrain (sols, marécages, sous-bois), etc. Une tendance actuelle en matière d'inventaire forestier tropical est à l'enregistrement de ces données. Il est bien évident qu'elles seront d'autant plus utiles que des progrès auront été faits en matière de classification des terrains pour l'exploitation et plus généralement dans le domaine de la quantification des relations entre les paramètres mesurés et les coûts d'exploitation.

DEUX NOUVELLES APPLICATIONS DE LA STATISTIQUE AUX INVENTAIRES FORESTIERS.

Processus stochastiques et « variables régionalisées ».

De nombreux dispositifs d'inventaire forestier utilisent une répartition systématique des parcelles de sondage. La théorie des sondages ne permet pas en principe l'estimation de l'erreur de sondage dans de tels dispositifs qui ne sont pas assimilables « sensu stricto » à des dispositifs au hasard. Les deux théories voisines citées en tête de ce paragraphe permettent une meilleure estimation de l'erreur dans ces dispositifs et, en ce qui concerne la seconde, une cartographie de la

fréquence des essences énumérées dans l'inventaire. Bien que d'un maniement qui reste complexe, il se pourrait qu'elles puissent bientôt être utilisées avec succès, notamment dans le cas des sondages de concessions préalables à leur exploitation.

Dispositifs à plusieurs degrés utilisant les photographies spatiales.

Un dispositif statistique simple dans son principe mais plus complexe dans sa formulation mathématique a été imaginé par un forestier américain pour l'inventaire de vastes zones. Il

consiste à utiliser une couverture photographique spatiale sur laquelle on place une grille carrée. On tire un certain nombre de carrés de cette grille proportionnellement à la surface de forêt qu'ils contiennent, laquelle est déterminée par interprétation des photographies spatiales. Sur les carrés ainsi tirés on prend une couverture photographique aérienne à petite échelle (1/30.000 à 1/70.000) et on opère semblablement sur chaque carré, en y sélectionnant de la même manière des

carrés qui seront photographiés à plus grande échelle (1/500 à 1/25.000). Finalement on tire sur ces derniers carrés des parcelles de sondage qui seront inventoriées au sol et dont les données permettront d'obtenir des résultats pour l'ensemble de la zone. L'application de cette méthode sera probablement profitable lorsque des photographies par satellite seront couramment disponibles, mais est, par nature, limitée aux opérations d'inventaire national ou régional.

CONCLUSION

De même que le rôle du forestier n'est pas bien sûr de « regarder pousser les arbres », de même le rôle de l'inventoriste forestier n'est pas seulement de « compter les arbres ». Afin de répondre plus adéquatement aux nombreuses demandes qui lui sont faites, l'inventoriste doit mettre en œuvre des techniques toujours plus évoluées et perfectionnées. L'histoire montre qu'il est souvent le premier forestier à introduire des outils nouveaux : ainsi il fut le premier à utiliser les méthodes statistiques dans le domaine forestier, il fut aussi le premier à apprécier les avantages du calcul automatique et de la saisie directe des données, et il est resté le premier à expérimenter les nouvelles méthodes de détection à distance depuis le jour où des inventoristes forestiers nord-américains

utilisèrent les premières photographies aériennes conventionnelles en noir et blanc.

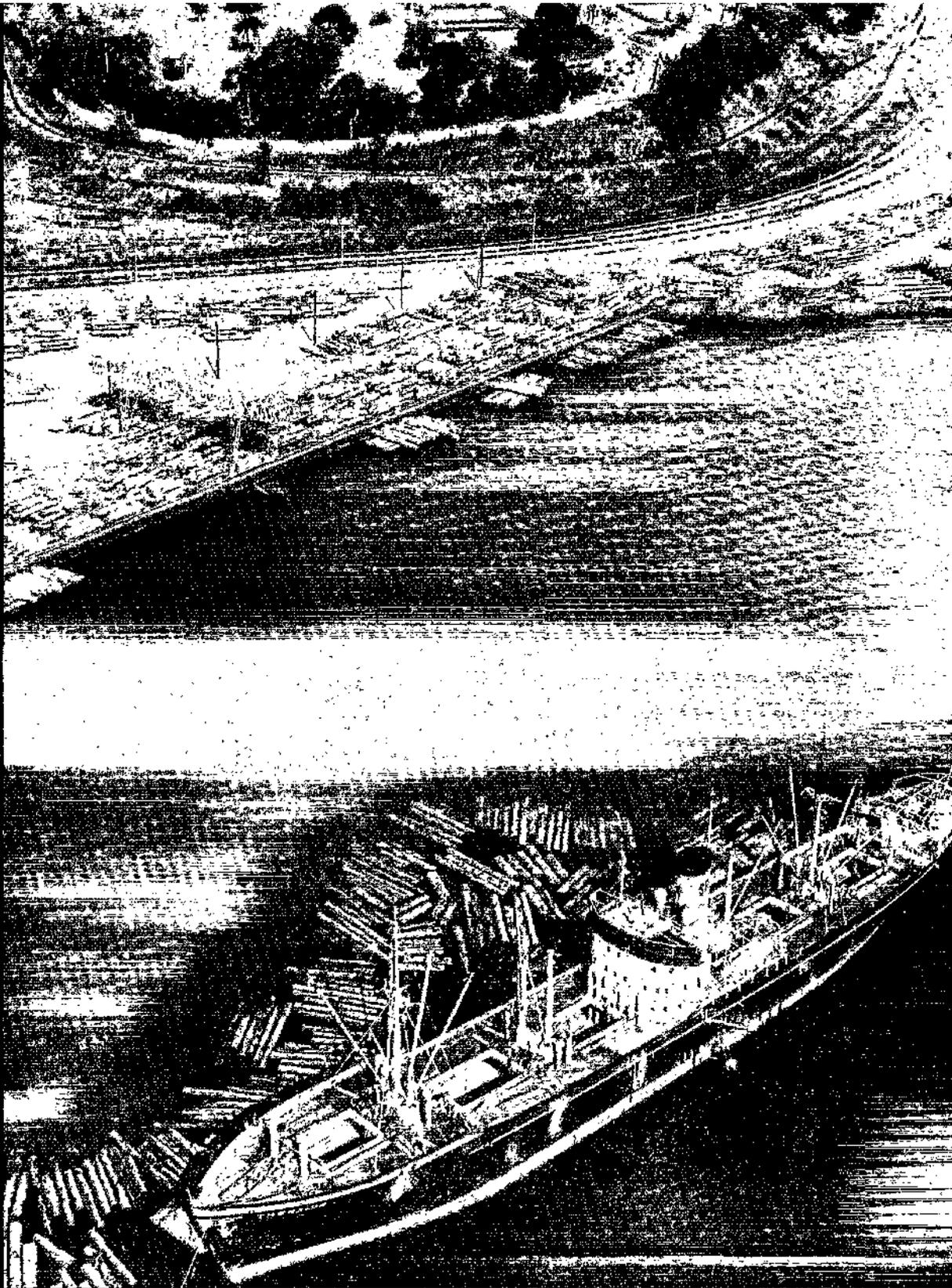
Cependant ce rôle de pionnier ne doit pas l'amener à s'isoler des autres forestiers. Les nombreuses critiques faites par les économistes et les investisseurs à l'encontre des données fournies par certains inventaires forestiers, montrent, s'il en était besoin, le manque d'une concertation qui aurait dû s'établir entre lui et les utilisateurs de son travail. En particulier, dans les projets de développement forestier, il conviendra de veiller plus encore que par le passé sur la nécessaire coordination des différents experts entre eux et avec les autorités responsables, afin que la phase préalable essentielle de l'évaluation des ressources soit la plus fructueuse possible.

BIBLIOGRAPHIE

- a) **Documentation sur les nouvelles techniques de détection à distance et leurs applications en matière de végétation et de foresterie est considérable.** Elle est principalement en langue anglaise, la plus grande partie des expérimentations étant réalisée par des spécialistes américains. En plus des quelques références signalées ci-dessous on consultera avec intérêt les deux revues « Photogrammetric engineering » et « Photo-interprétation » (en français) et la documentation issue des conférences internationales sur la détection à distance en matière d'environnement (« International symposium on remote sensing of environment »).
- « Remote sensing with special reference to Agriculture and Forestry », publié par la « National Academy of Sciences » américaine est un ouvrage technique très utile.
- « Application of remote sensors in forestry » publié par l'ancienne section 25 de l'I. U. F. R. O. rassemble des articles rédigés par des forestiers du groupe de travail consacré à la détection à distance : cet ouvrage moins technique que le précédent peut servir de « vademecum » à l'usage du forestier des applications de ces nouvelles techniques.

- b) **Documentation sur les nouvelles techniques en matière d'évaluation des paramètres caractéristiques des peuplements :**

- J. P. LANLY et G. LÉPITRE. — « Estimation des volumes commercialisables dans les inventaires forestiers tropicaux par sondages ». *Bois et Forêts des Tropiques*, n° 129, janv.-fév. 1970.
- « Evaluation of accessibility of forest resources. — A pilot study on logging costs from inventory data. » Papier F. O. : M. I. S. C./72/15 publié par la DIVISION DES RESSOURCES FORESTIÈRES DE LA F. A. O.
- M. POISSONNET. — « Étude de variables régionalisées ». Rapport de stage publié par la Station de Biométrie du C. N. R. F. — I. N. R. A.
- X. GIUDICELLI, J. P. LANLY, J. B. OUAKAM et M. PIETRI. — « Application de la théorie des processus aléatoires à l'estimation de la précision d'un inventaire forestier par échantillonnage systématique ». *Annales des Sciences Forestières*, n° 2, 1972).
- P. G. LANGLEY. — « New multi-stage sampling techniques using space and aircraft imagery for forest inventory ». Proceedings of the 6th international symposium on remote sensing of environment.



SESSION D'AUTOMNE DE L'ASSOCIATION TECHNIQUE INTERNATIONALE DES BOIS TROPICAUX (A.T.I.B.T.) A HAMBOURG

Sur l'invitation de la VEREIN DEUTSCHER HOLZEINFUHRHAUSER (Fédération Allemande des Importateurs de Bois), la session d'automne de l'Association Technique Internationale des Bois Tropicaux (A. T. I. B. T.) s'est tenue à Hambourg les 24 et 25 octobre 1972 sous la Présidence de M. Walter BOUGHARD, Président Général.

Une soixantaine de membres des diverses branches professionnelles qui s'intéressent aux bois tropicaux sous tous leurs aspects : producteurs, importateurs, exportateurs, négociants, industriels, représentants de centres techniques et d'instituts de recherches appartenant à quinze pays sur les vingt qui sont représentés au sein de l'A. T. I. B. T. ont participé aux travaux de la session : réunions de commissions et visites techniques.

La Commission V chargée du classement et du conditionnement des bois tropicaux a examiné sous la présidence de M. COLLARDET les propositions formulées par un groupe de travail en vue de la définition éventuelle de nouveaux classements commerciaux des lots de grumes. Elle a suggéré de conserver la Qualité Loyale et Marchande (Q. L. M.) actuelle à 8.375 points et de créer en sus une qualité à 8.000 points, mais a finalement décidé de renvoyer l'examen de la question à une prochaine réunion en vue d'une étude plus approfondie avec les organisations représentatives des producteurs. La Commission a d'autre part estimé que les réfections résultant d'un calcul devront être arrondies au chiffre plein le plus voisin. Elle a enfin établi une liste des essences tropicales destinées à l'exportation sous forme de rondins et auxquelles il serait souhaitable d'appliquer un traitement de préservation.

La Commission II (propagande et publicité) présidée par M. DAHMS a décidé de nommer une sous-commission dont les membres s'efforceront de diffuser dans la presse de leurs pays des informations concernant l'A. T. I. B. T. de manière à mieux faire connaître l'Association. Un effort sera

fait également auprès de pays qui ne sont pas encore représentés à l'Association, et celui qui a été commencé auprès des Chambres de Commerce sera poursuivi.

La Commission VII chargée des relations avec les Organisations Internationales et les Organismes de Recherches, présidée par M. GIMON, a entendu un bref compte rendu du représentant de la F. A. O., M. ERFURTH, mentionnant les activités de cette Organisation internationale en matière forestière tropicale ; un exposé plus détaillé sera fait à la prochaine session. On a indiqué à cette occasion que l'évolution du problème de la création d'un Bureau International des Bois Tropicaux auquel s'intéressent divers organismes internationaux avait fait peu de progrès.

La Commission IV (Contrats et usages) présidée par M. HOORNAERT a estimé que le moment était peut-être venu de discuter à nouveau avec la Timber Trade Federation une clause d'arbitrage commune aux contrats types A. T. I. B. T. utilisés sur le continent et aux contrats en usage dans les pays anglophones ; les Organisations de Producteurs seront consultées. La Commission a par ailleurs continué l'examen des clauses types recommandées par l'A. T. I. B. T. pour la rédaction des contrats.

La Commission VI chargée des problèmes d'utilisation des bois tropicaux, a entendu d'abord un exposé de son Président M. ROTH rendant compte de diverses informations sur l'utilisation de certains bois ainsi que de sa participation aux journées du bois de la Foire de Trieste. La réunion d'Abidjan sur la promotion des essences forestières peu ou pas exploitées a été ensuite évoquée. On a souligné, à cette occasion, le fait qu'il était nécessaire, pour la réussite d'une opération de commercialisation, de connaître les volumes sur pied effectivement disponibles.

Le Conseil d'Administration a enfin ratifié les propositions faites par les diverses Commis-

sions. Il a enregistré l'adhésion de sept nouveaux membres actifs. Il a décidé l'étude d'une modification des statuts qui faciliterait le travail des Commissions.

Des visites techniques ont complété de très heureuse façon cette session. La première matinée a en effet été consacrée, après un trajet en vedette à travers le port, à l'impressionnant parc à bois de Waltershof, à travers lequel les participants ont été très aimablement guidés par M. Martin MÜLLER.

Au cours de la seconde matinée les membres de l'A. T. I. B. T. ont visité à Lohbrügge les nouvelles installations du BUNDESFORSCHUNGSANSTALT FÜR FORST UND HOLZWIRTSCHAFT (Établissement Fédéral de recherches de la forêt et du bois). Accueillis par le Président, le Professeur Dr PLATZER, ils ont pu voir en détail et admirer les aménagements et le matériel très modernes des Instituts de biologie du bois et de technologie du bois.

Ces deux visites ont été particulièrement démonstratives de la place tenue par l'Allemagne Fédérale

dans le commerce des bois tropicaux et dans la recherche sur le bois.

Le mardi soir la Fédération Allemande des Importateurs de Bois (Verein Deutscher Holzimporteurhäuser) avait convié les participants à une très agréable réception autour d'un somptueux buffet froid, au Hamburg Centrum. Le Président de la Fédération, M. NIEMOHLMANN avait souhaité la bienvenue à Hambourg aux membres de l'Association, tandis que le Président de l'A. T. I. B. T., M. BOUCHARD, remerciait la Fédération de son accueil.

Le Président Général sortant, M. PECHE, devait se faire, le lendemain, l'interprète des membres de l'A. T. I. B. T. pour remercier la Fédération Allemande et M. BOUCHARD de la parfaite organisation d'une session qui avait donné lieu à un excellent travail et dont l'intérêt avait été encore accru par la qualité des visites techniques, ainsi que par la cordialité parfaite de l'accueil réservé aux participants.

Photo Conti-Press-Hamburg.



L'A. T. I. B. T. visite le parc à bois de Waltershof à Hambourg.