

# NOTE SUR L'UTILISATION DES PHOTOGRAPHIES AÉRIENNES POUR LES QUESTIONS FORESTIÈRES (1)

**L**e relevé cartographique précis des immenses territoires d'outre-mer n'est possible économiquement qu'avec les photographies aériennes. Depuis la guerre, les Services Géographiques des différents territoires travaillent beaucoup ces questions.

Sans rechercher le degré de précision des topographes, les Services Forestiers ont intérêt à consulter et à utiliser les documents photo-

graphiques, qui sont représentés surtout en A.O.F. par les cheminements aériens effectués par l'aviation américaine pendant la guerre (2).

Dans la présente note, on trouvera exposée une méthode simple pour l'exécution des plans avec les photographies et quelques exemples succincts de leur utilisation en matière forestière.

## CHAPITRE I

### ETABLISSEMENT D'UN PLAN A L'AIDE DES PHOTOGRAPHIES

L'aviation américaine a effectué, pendant la guerre, un nombre considérable de missions photographiques au-dessus de l'A.O.F., en appliquant la technique de prises de vue décrite ci-dessous.

L'avion vole à 6.000 mètres d'altitude suivant une direction rectiligne et prend des clichés

simultanément avec trois appareils montés sur une armature rigide placée sous la carlingue. Le premier appareil est placé de telle manière

(1) Ce travail a pu se faire grâce à l'amabilité du colonel Fouque, chef du service géographique de l'A.O.F., qui nous a communiqué toutes photos et documents utiles.

(2) Depuis 1945, l'aviation française a exécuté des missions analogues, suivant le même principe.

Croquis montrant les zones de terrain recouvertes par les photographies verticales et obliques d'une même prise de vues.

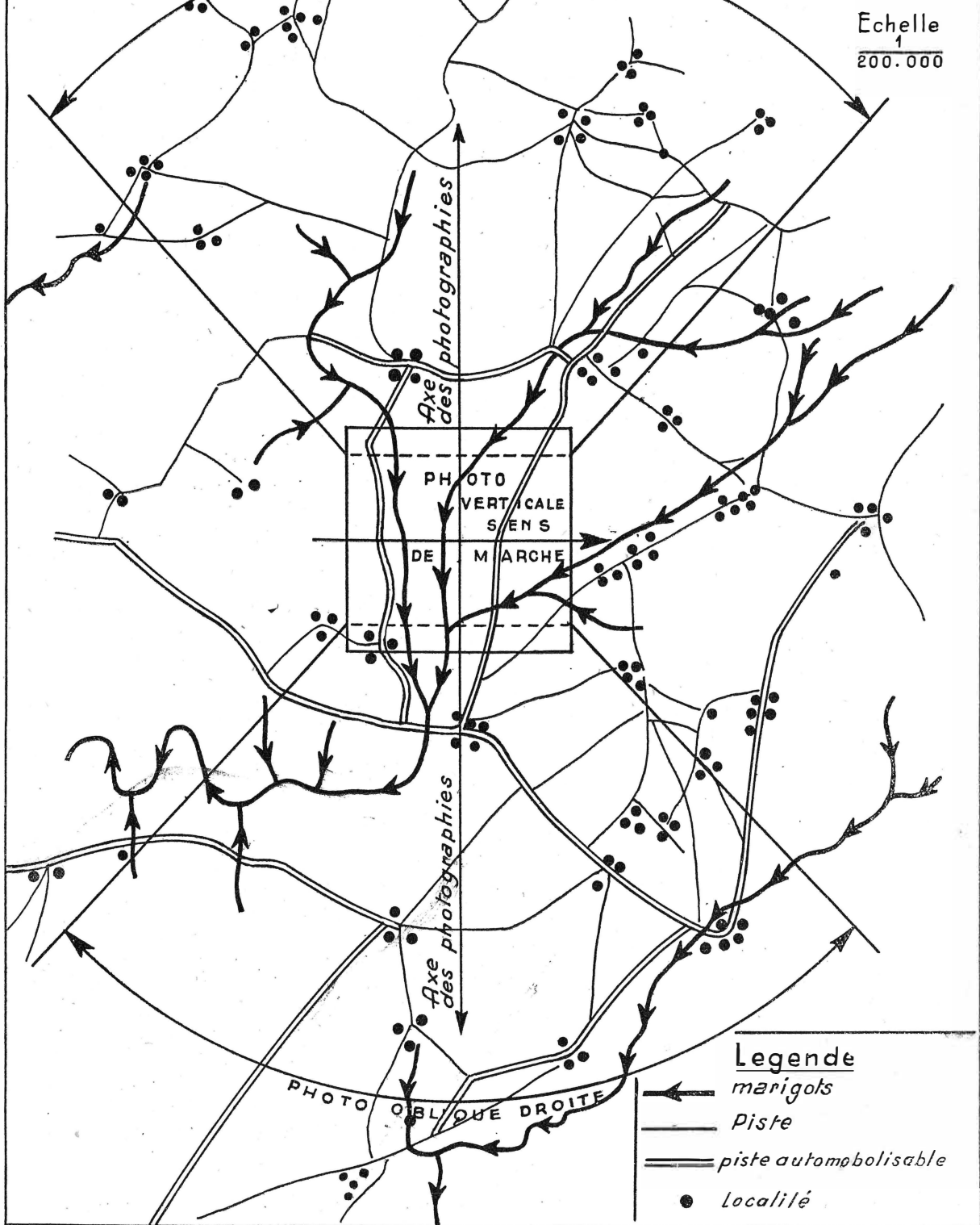
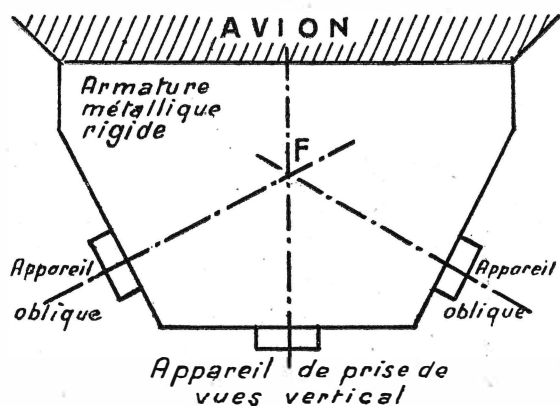
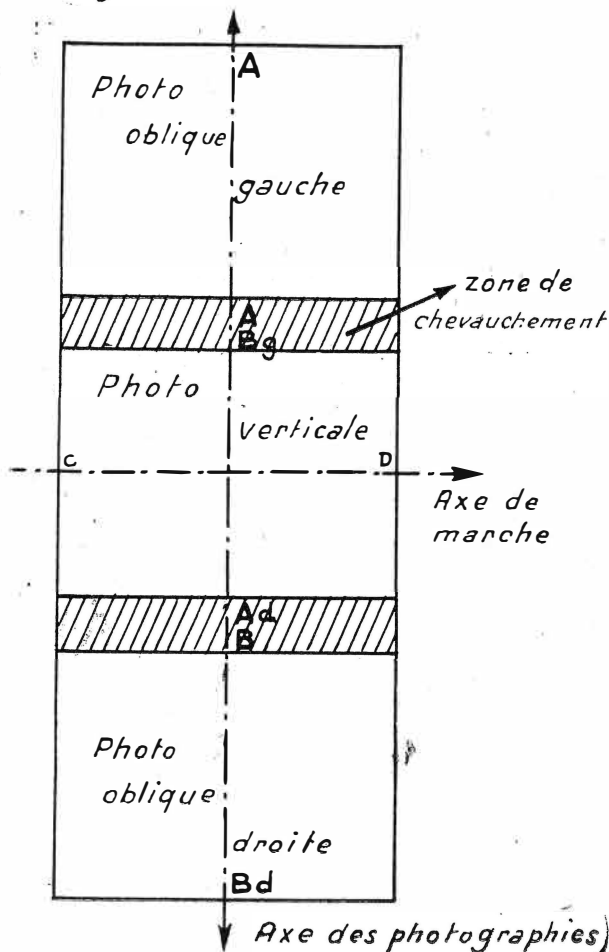


Figure I Schéma du dispositif de prise de vues



— — — — Axes optique des appareils photographiques concourant au point F

Figure II



que son axe optique soit vertical, l'avion étant en position normale ; les deux autres à droite et à gauche du premier ont leurs axes optiques inclinés de  $60^\circ$  sur la verticale. Les trois axes concourent au même point F (fig. 1).

Les trois photos prises simultanément sont donc : une photographie verticale, correspondant à une vue perspective verticale (quand l'avion est en position normale) ; deux photographies obliques, droite et gauche, donnant des vues perspectives obliques, contenant la ligne d'horizon, et chevauchant légèrement sur la vue verticale (fig. 2).

L'appareil de déclenchement des prises de vues est réglé de telle sorte que, l'avion ayant atteint sa vitesse de croisière, les photos se recouvrent aux deux tiers. Les clichés sont des carrés de 22,8 cm. de côté.

Le croquis précédent montre les zones de terrains recouvertes par les photographies sur une carte au  $1/200.000^\circ$ . Alors que la photographie verticale ne recouvre que  $81 \text{ km}^2$ , les photographies obliques intéressent chacune, jusqu'à la ligne d'horizon (située à 276 km. de l'avion quand celui-ci se trouve à 6.000 mètres), plus de  $70.000 \text{ km}^2$  de terrain ; mais, comme nous le verrons plus loin, une très faible partie est utilisable.

#### A. — Utilisation des photographies verticales pour l'établissement de la planimétrie du terrain

Les photographies verticales portent au milieu de chacun de leurs côtés un repère, A, B, C, D.

Le point de rencontre des médianes, qui joignent les repères deux à deux, est le centre O de la photographie et correspond au point d'intersection de l'axe optique avec le sol, qui ne coïncide pas forcément avec la verticale de l'avion, qui peut être incliné sous l'effet du roulis.

Les photographies obliques ne portent que deux repères : Ag, Bg ; Ad, Bd, alignés avec ceux qui leur correspondent sur la photographie verticale, puisque les axes optiques sont concourants.

La droite Bd, B, Ad, Bg, A, Ag est appelée axe des photographies (fig. 2).

Le chevauchement des photographies obliques sur la photographie verticale fait qu'une certaine partie du terrain a son image à la fois sur une vue oblique et une vue verticale.

Connaissant la distance focale  $f = 15,3 \text{ cm.}$ , on peut construire le segment de droite du

terrain situé dans le plan des axes optiques et commun aux photographies verticales et obliques (fig. 3).

Soit : F le foyer commun ;

Pv le plan focal de l'appareil vertical ;

Po le plan focal de l'appareil oblique ;

A, B, Bg, Ag, les repères définis ci-dessus ;

h le point d'intersection de la perspective de la ligne d'horizon avec le plan des axes optiques.

Les segments de droite EB et EgBg sont l'image du segment eeg du terrain commun aux deux photographies.

La droite XY, intersection des plans focaux des deux appareils est très importante ; on peut la déterminer de deux manières différentes sur les clichés.

1° *Par construction.* — Elle est à une distance fixe du point O ; il suffit de mesurer la longueur OX sur la figure construite à l'échelle et de la reporter sur la photo verticale, on obtient immédiatement la droite XY ; ceci fait, on peut la reporter sur la photo oblique en repérant les détails du terrain sur lesquels elle passe.

2° *Par tâtonnement.* — On sait en effet (propriété de la perspective) que l'échelle croît lorsqu'on se déplace de Ag vers Bg sur la photo oblique. Il suffira donc de mesurer les distances séparant deux détails planimétriques communs aux deux photographies et situés sur une perpendiculaire à l'axe des photographies, jusqu'à ce que la distance soit la même, auquel cas on obtiendra XY.

Nous avons vu que les photographies se recouvraient aux deux tiers (fig. 4). Soit O<sub>1</sub>, O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, les centres de trois photos successives, il apparaît immédiatement sur le schéma que la photographie n° 2 contient les trois centres O<sub>1</sub>, O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> ; les autres étant repérés sur la photographie n° 2, le triangle O<sub>1</sub>O<sub>2</sub>O<sub>3</sub> permet l'assemblage rigoureux des photographies 1, 2, 3 (fig. 5) lorsque la route de l'avion n'est pas rectiligne ; et ainsi de suite...

L'observation stéréoscopique facilite beaucoup le repérage des centres.

L'échelle des photographies c peut se calculer ainsi :

Soit : f la distance focale égale à 15,3 cm. ;

H l'altitude de l'avion (6.000 m.) ;

h la cote moyenne du terrain.

On a :

$$c = \frac{f}{H - h}$$

Figure III

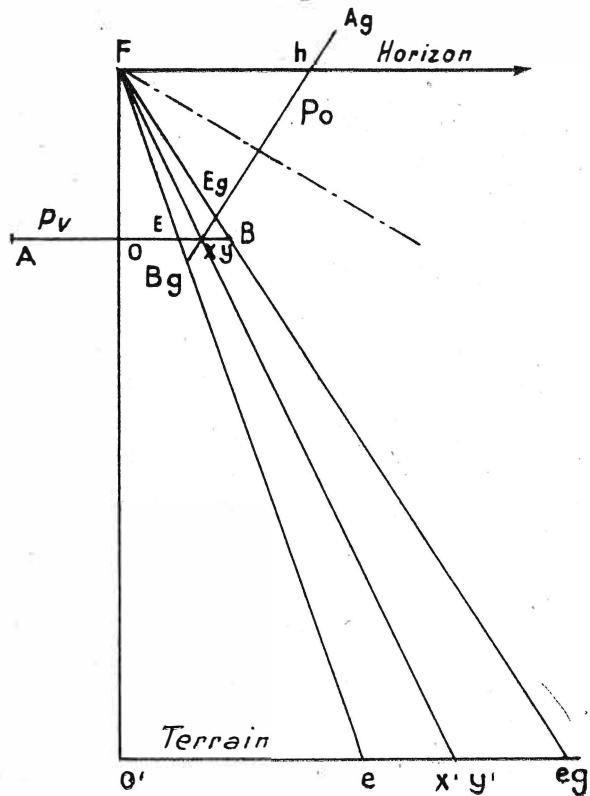


Figure IV

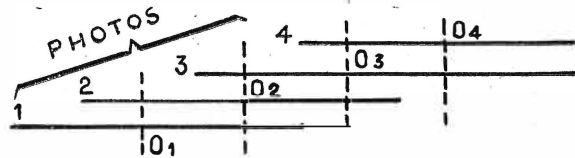


Figure V Assemblage de trois photographies verticales

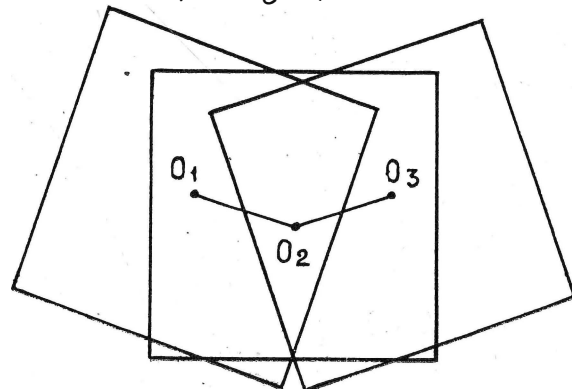
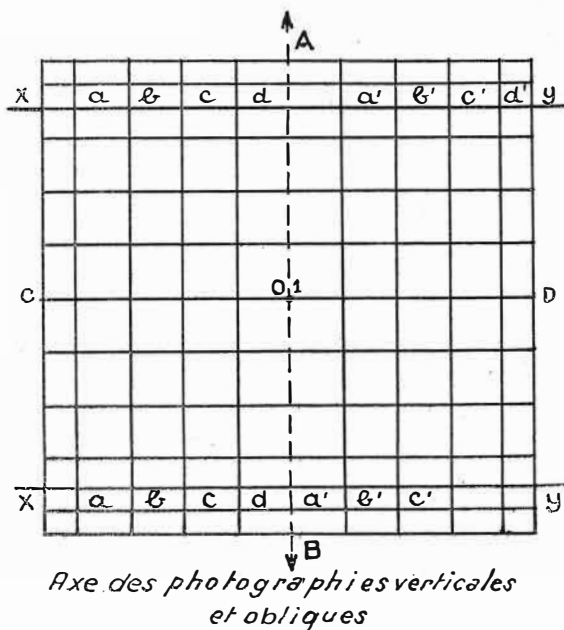




Figure VI Carroyage kilométrique de la photo verticale



Au Sénégal, la cote est de 50 mètres environ pour la majeure partie du pays. Nous avons donc :

$$c = \frac{15,3}{595.000} = \frac{1}{39.000}$$

Le report à l'échelle du cheminement aérien et son rattachement à deux points géodésiques connus G, R, choisis au voisinage des extrémités ne va pas sans une certaine compensation. Cette compensation étant réalisée, l'échelle obtenue, ci-dessus, peut être corrigée pour obtenir l'échelle vraie  $e_v$ . On a :

$$e_v = \frac{K_1}{K} e$$

où K est la distance kilométrique séparant les points G et R, rattachés au cheminement.

$K_1$ , la distance réelle des deux points G et R mesurée sur la carte.

$e$ , l'échelle.

On peut, soit compenser graphiquement le cheminement, ou le refaire avec la nouvelle échelle vraie.

Tout ce qui vient d'être dit est vrai lorsque l'axe optique de l'appareil est vertical, s'il est incliné (cas où l'avion a du roulis), les différentes parties du cliché ne sont pas à la même échelle.

Le roulis peut se voir en observant la position de la ligne d'horizon sur deux photographies obliques (droite et gauche), par rapport au bord.

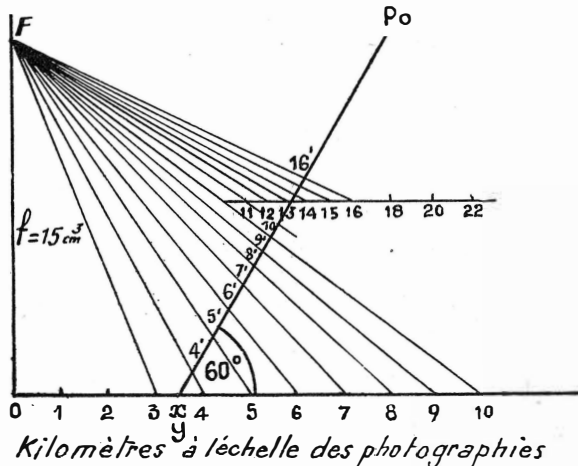
Un calcul simple montre que si l'angle de roulis est plus petit que  $8^\circ$ , les erreurs relatives sont inférieures à  $1/100$  et à  $1/200$  si l'angle est égal à  $5^\circ$ . (Cette précision est aussi grande que celle obtenue avec les levés expédiés à la chaîne et à la boussole Peigné.)

Les centres étant fixés sur le plan, on peut ensuite reporter le détail du terrain à l'aide d'une grille kilométrique appliquée sur la photo, ou simplement, si l'on veut garder l'échelle de la photo, à l'aide d'un calque.

Le carroyage de la grille tracée en prenant le centre de la photographie comme origine est placé de telle façon qu'il soit orienté parallèlement aux axes des traits de repère. On obtiendra par la même occasion l'axe des photographies obliques (fig. n° 6).

On peut ainsi restituer avec une grande précision, une bande de 9 kilomètres de large.

Figure VII Epure donnant les perspectives sur la photographie oblique des points kilométriques du terrain.



## B. — Utilisation des photographies obliques

Le cliché obtenu est une perspective oblique du terrain. Toutes les lignes du terrain parallèles à l'axe des photographies convergent en un point appelé point de fuite qui est l'intersection  $h$  de l'axe des photographies avec la ligne d'horizon. (Ceci n'est d'ailleurs pas tout à fait vrai, car il y a abaissement de la ligne d'horizon dû à la courbure de la terre et à la réfraction de l'atmosphère.)

La perspective des droites du carroyage parallèles à l'axe des photographies s'obtient aisément. Il suffit, sur la droite  $XY$  définie plus haut, de porter les distances kilométriques à l'échelle photo et de tracer les droites qui les joignent au point de fuite.

Le problème peut être résolu graphiquement pour les droites parallèles à l'axe de marche de l'avion.

Soit :  $F$  le foyer ;  $f$  la distance focale ;  $P$  le plan focal de l'appareil vertical et  $P_0$  celui de l'appareil oblique qui se coupent en  $XY$  ;  $O$  le centre du cliché vertical.

Portons, à partir de  $O$ , les distances kilométriques à l'échelle de la photographie ; joignons le point  $F$  aux points kilométriques 4, 5, 6...  $(n-1)$ ,  $n$ , etc..., nous obtenons en  $4'$ ,  $5'$ ,  $6'$   $(n-1)'$ ,  $n'$ ..., l'échelle kilométrique correspondant sur le cliché oblique (fig. 7).

Il est donc possible de construire une grille, perspective du carroyage kilométrique sur la photographie oblique, en menant par les points obtenus précédemment des parallèles à  $XY$ . Cette grille permet la restitution de la planimétrie carreau par carreau (fig. 8).

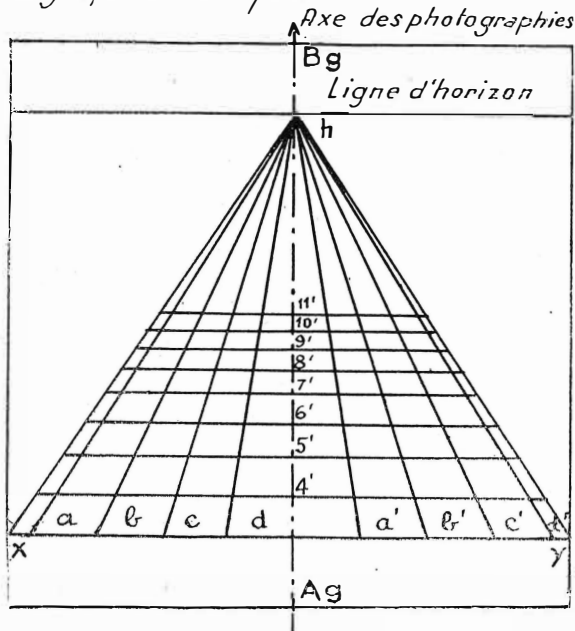
Ceci est théorique, car il faut tenir compte de l'abaissement de la ligne d'horizon et du roulis.

### 1° Abaissement de la ligne d'horizon.

La terre étant représentée par la circonférence de centre  $C$  et de rayon  $CT$ , le point  $A$  indique la position de l'avion à 6.000 mètres d'altitude, le point  $O$  impact du rayon vertical (fig. 9).

En supposant que l'altitude du sol soit voisine de zéro, un calcul simple montre que l'abaissement de la ligne d'horizon est de 21,8 mètres par kilomètre, ce qui donne à l'échelle des photographies 1 m/m pour 5 cm. En terrain montagneux, il faut faire intervenir la cote moyenne du terrain dans les calculs.

Figure VIII - Perspective du carroyage kilométrique sur la photographie oblique.



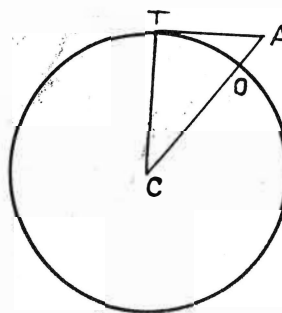
### 2° Correction due au roulis.

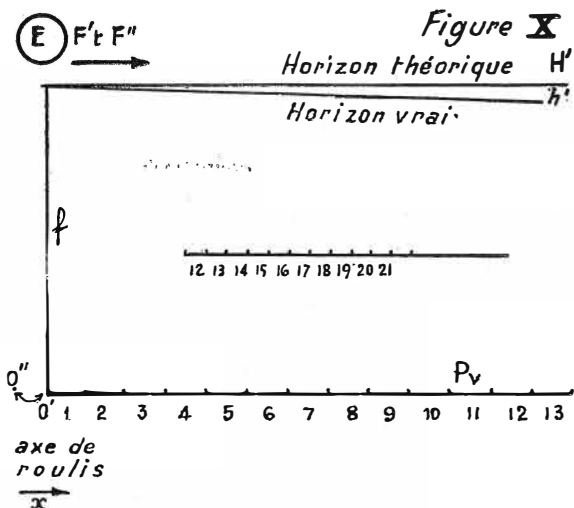
Elle se traduit par une variation de la distance  $Xh$ ,  $h$  étant le point de fuite.

Le phénomène peut être mis en évidence graphiquement.

Sur un papier transparent, traçons une figure analogue à la figure 7. Soit :

Figure IX





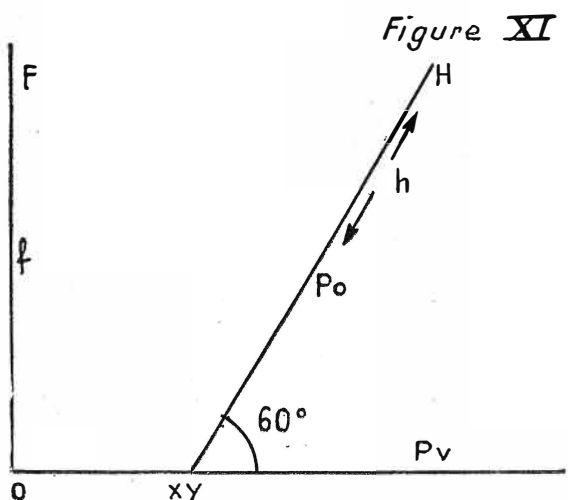
$P_v$  le plan de l'appareil vertical situé à la distance  $f$  du foyer  $F$  ;

$P_o$  le plan oblique,  $XY$  la droite définie plus haut (fig. 11).

Sur un papier fort, traçons :  $F' O' = f$ , le plan vertical  $P_v$  avec les distances kilométriques à l'échelle photo, les droites  $FH'$  horizon théorique et  $Fh'$  horizon vrai (fig. 10).

Appliquons la feuille de papier transparent sur la feuille de papier fort ; faisons coïncider  $F'$  et  $F''$ , le roulis se schématise par une rotation autour des points  $F$  et  $F''$  de la feuille transparente.

Portons sur  $(XY)$   $H$  la distance  $Xh$  mesurée sur la photographie oblique. Amenons par un



mouvement de rotation de la feuille transparente le point  $h$  sur la ligne  $F'h'$ , nous aurons à l'échelle de la photographie la valeur exacte du roulis (arc  $O'O''$ ).

Lorsque le roulis est faible, ce qui est généralement le cas, l'arc  $O'O''$  peut être confondu avec la tangente.  $O''$  correspond au centre de la photographie verticale et, pour construire le carroyage, il faudrait théoriquement reporter les distances kilométriques à partir de  $O''$ . Pour éviter d'avoir à refaire cette opération sur chaque cliché, faisons subir au papier transparent, après rotation, une translation  $t = O'' O'$ . La distance  $Xh$  n'est pas modifiée,  $F'$  vient en  $F''$  ; il suffit de tracer les rayons visuels issus de  $F''$  passant sur les points kilométriques 4, 5, 6... n, leur intersection avec  $X$  h donne sur l'axe de la photographie oblique les points d'impact des kilomètres correspondants.

Soit alors  $H$  la ligne d'horizon,  $h$  le point de fuite, la construction précédente (fig. 8) permet de construire un canevas de droites composées :

1° d'horizontales passant par les points kilométriques déterminés par intersection des rayons visuels et de la droite  $Xh$  ;

2° d'obliques concourant au point  $h$  et issues des points  $a, b, c, d$  ;  $a', b', c', d'$  correspondant à l'intersection de la droite  $XY$  avec les droites du carroyage des photos verticales perpendiculaires à l'axe de marche.

Comme le roulis est insensible sur la plupart des clichés, on utilise souvent le même canevas.

Sauf sur les clichés très nets, il est de plus en plus difficile de reporter avec exactitude les détails au fur et à mesure que l'on s'éloigne de l'axe de marche de l'appareil. Alors que sur les photographies verticales, 1 km correspond à 2 cm 5, il n'est plus représenté sur les obliques que par 7 mm au kilomètre 10 et 2 mm 5 au kilomètre 20, si bien qu'au delà on peut tout au plus fixer d'une manière approximative les rivages de la mer, les fleuves, les chemins de montagne.

### C. — Observations stéréoscopiques

L'emploi du stéréoscope est possible puisque les clichés se recouvrent au 2/3. Malgré l'altitude, on obtient une forte sensation de relief. Nous avons utilisé au cours de nos recherches un stéréoscope à prismes de l'Armée de l'Air (modèle 1923). Nous n'insisterons pas sur le maniement de cet appareil ou d'appareils similaires, la notice jointe à tout instrument permettra à l'opérateur novice de s'en servir.

## CHAPITRE II

### QUELQUES APPLICATIONS PRATIQUES DES PHOTOGRAPHIES POUR LES QUESTIONS FORESTIERES

Les services topographiques établissent la plupart du temps avec les photographies aériennes des plans au 1/200.000<sup>e</sup>, en portant naturellement leur attention sur les détails spécifiquement géographiques : fleuves, rivières, routes, pistes, villages, lagunes, accidents du relief. La collaboration avec ces services sera à rechercher quand le forestier travaillera sur une région déjà levée ou en cours d'étude ; les canevas ou les cartes fournies éviteront bien des tâtonnements et des erreurs et, à l'aide des clichés, on pourra établir rapidement une carte forestière de la région.

Cependant, lorsqu'il s'agit de massifs boisés classés ou à classer, d'exploitation de bois d'œuvre ou de bois de feu, il y aura souvent intérêt à établir des cartes à l'échelle de la photo en y portant tous les détails techniquement intéressants.

#### Classement et délimitation des forêts

Les reconnaissances terrestres d'un massif boisé ne portent généralement que sur les contours extérieurs.

Dans les régions de savanes, les cultures occupent généralement les abords des pistes et l'on ignore si les frondaisons des arbres visibles à quelques centaines de mètres correspondent à un massif étendu ou à une mince galerie forestière. Inversement lorsqu'on chemine dans des îlots de forêt intacte, on juge difficilement de leur étendue, de la proportion des savanes ou de cultures qu'ils renferment, de l'extension de telle association ou formation végétale.

Cependant il faut, pour n'avoir qu'une vue incomplète du massif à classer, des déplacements pénibles, longs et coûteux ; d'autant plus que le relevé des principales routes et pistes, des cours d'eau et l'ouverture des limites artificielles est nécessaire si l'on veut fixer dans l'espace le massif boisé pour en assurer le classement.

L'observation des clichés aériens fournit d'emblée tous les renseignements. Le contour des massifs boisés, des cultures, des jachères, la position des villages, le tracé des routes, pistes et rivières, les barres rocheuses apparaissent avec une grande netteté.

Avec ces documents, on peut, au bureau, tracer les contours du massif à classer, en réservant aux villages, compte tenu de leur population, des surfaces suffisantes pour leurs cultures.

Les orientements étant calculés d'après les photos, il suffit d'envoyer sur place des gardes forestiers connaissant bien le maniement de la boussole pour ouvrir rapidement et avec précision les limites artificielles.

La carte ci-après, rédigée par M. MADEC, Inspecteur des Eaux et Forêts à Saint-Louis, montre ce que l'on peut tirer des photographies aériennes pour l'établissement des cartes forestières.

#### Evaluation du volume des peuplements

La grande hauteur à laquelle sont prises les photographies américaines limite les observations, même en faisant usage de la loupe. A basse altitude, 1.000 à 1.500 mètres, un observateur exercé doit pouvoir identifier certaines essences et estimer avec précision le volume des peuplements. Quand il s'agit d'établir d'importantes exploitations forestières des clichés à faible altitude donneraient des renseignements de grande valeur, justifiant largement l'affrètement d'un avion.






Le stéréoscope grossissant permet de discerner les cimes des arbres et d'évaluer leur hauteur relative : grands arbres, arbres moyens, brousse arbustive.

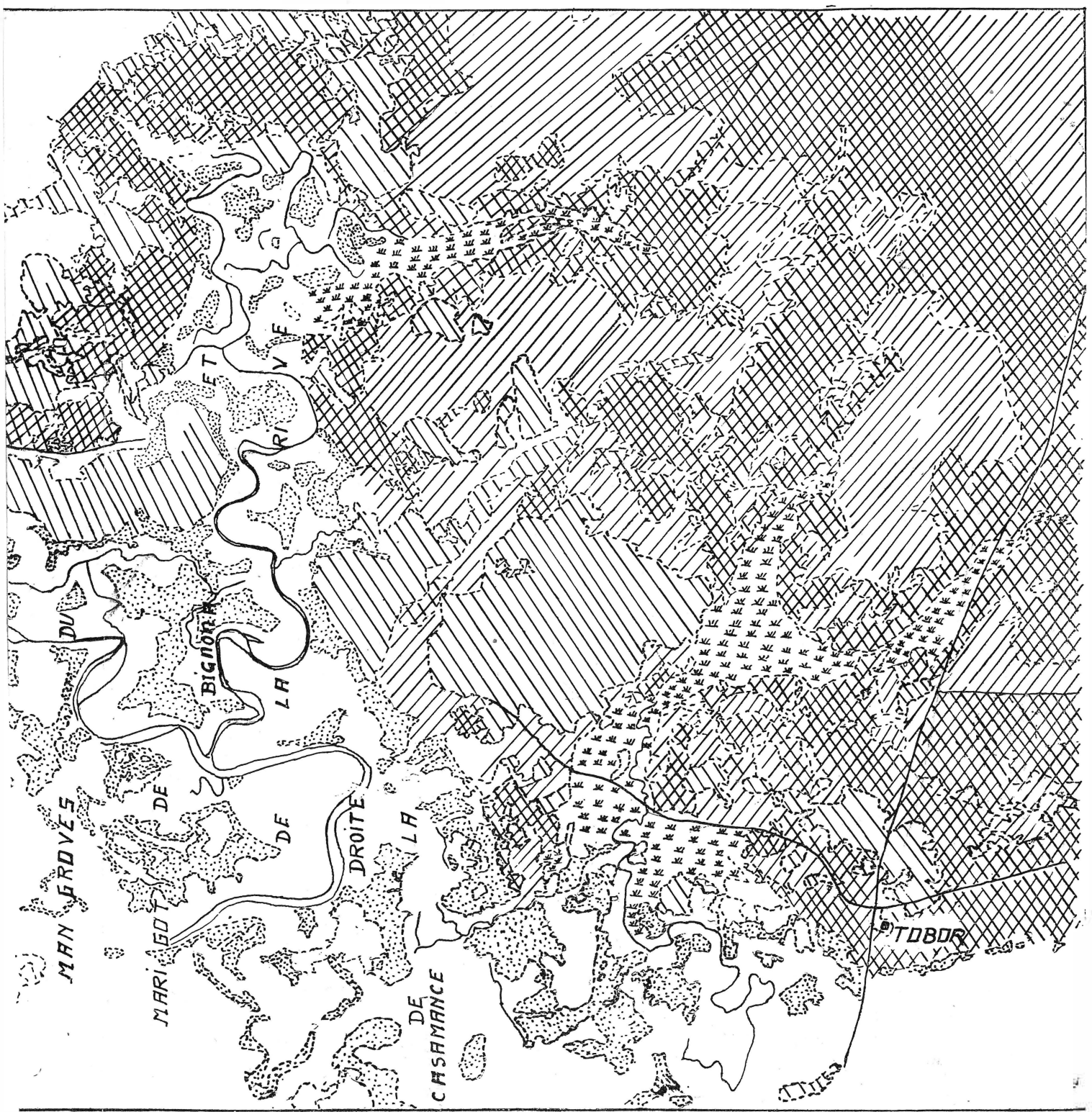
Nous avons essayé de déterminer des indices de richesse du peuplement et de les comparer aux volumes exploitables des peuplements mesurés sur le terrain en utilisant la méthode ci-dessous :

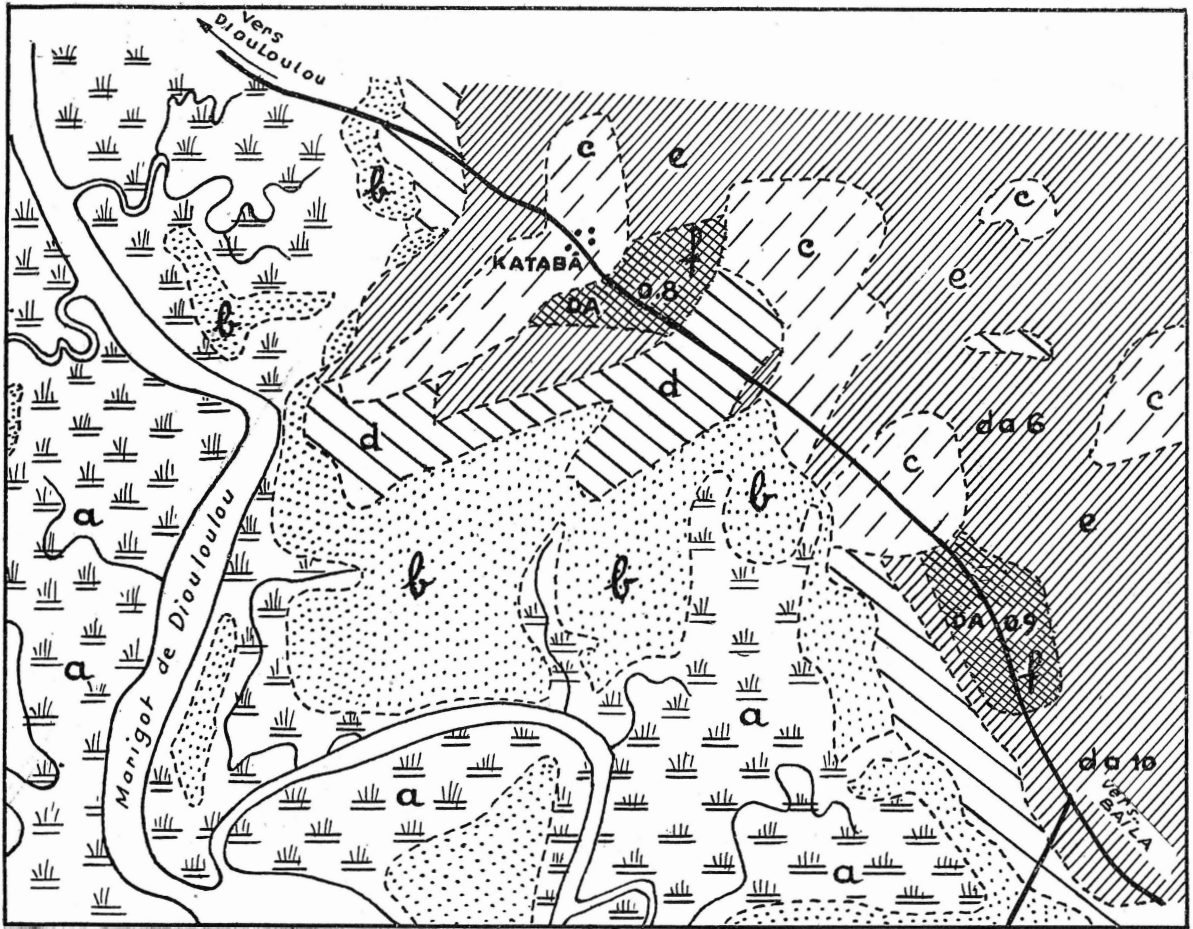
On applique sur la photographie une petite lame de verre sur laquelle est gravé un carré de 1 cm de côté (400 mètres sur le terrain) ; avec le stéréoscope, on compte le nombre de cimes d'arbres de grande taille et de taille moyenne à l'hectare ; on obtient ainsi l'indice de richesse en arbres moyens. Il y a corrélation entre les indices et le volume exploitable à l'hectare mesuré sur le terrain, si bien qu'avec un planimètre on peut généraliser les volumes exploitables à des peuplements entiers.

# REGION DE BAHANGA — OUEST ROUTE TOBOR-BIGNONA

ECHELLE  $\frac{1}{40000}$

PEUPEMENT CLAIRSEME  PEUPEMENT MOYEN  PEUPEMENT RICHE   
 TANES  TERRAINS INONDABLES





CARTE N° 2 *Extrait de la carte Forestière N°1 (Centre)*  
de la CASAMANCE

Echelle  
1  
40.000

On voit sur cette carte :

1° Un marigot important, le marigot de Diouloulou, et ses affluents. Ces marigots étant bordés par un rideau de palétuviers rouges (*Rhizophora racemosa*) de 10 à 15 mètres d'épaisseur, recherchés pour le bois de chauffage; on peut avoir une idée de la possibilité de ces peuplements.

2° La route de Diouloulou à Baïla.

3° Différentes zones de végétation :

a) Une zone marécageuse inondable, couverte par des peuplements de palétuviers blancs (*Avicennia albita*). Ces terrains n'ont aucune valeur.

b) Une zone de « bancs », terrains salés stériles portant par place quelques rares touffes de graminées ou d'arbustes.

c) Une zone de cultures avec quelques rares arbres isolés entourant généralement les villages. Cette zone comprend des cultures de l'année et des jachères.

d) Une zone de brousse arbustive, contenant quelques arbres de taille moyenne, correspondant à une très vieille jachère.

e) Une zone de peuplements d'arbres moyens à santun dominant avec quelques caïlcédrales, des manipulos, des mombodas; les indices de richesses  $da = 6$  et  $da = 10$  correspondent à un volume exploitable à l'hectare de 5 à 12 m<sup>3</sup> de bois d'œuvre.

f) Une zone de grands arbres avec fromagers, caïlcédrales; les indices de richesse  $DA = 0,8$  —  $DA = 0,9$  correspondent à 10 et 15 m<sup>3</sup> de bois d'œuvre exploitables à l'hectare.

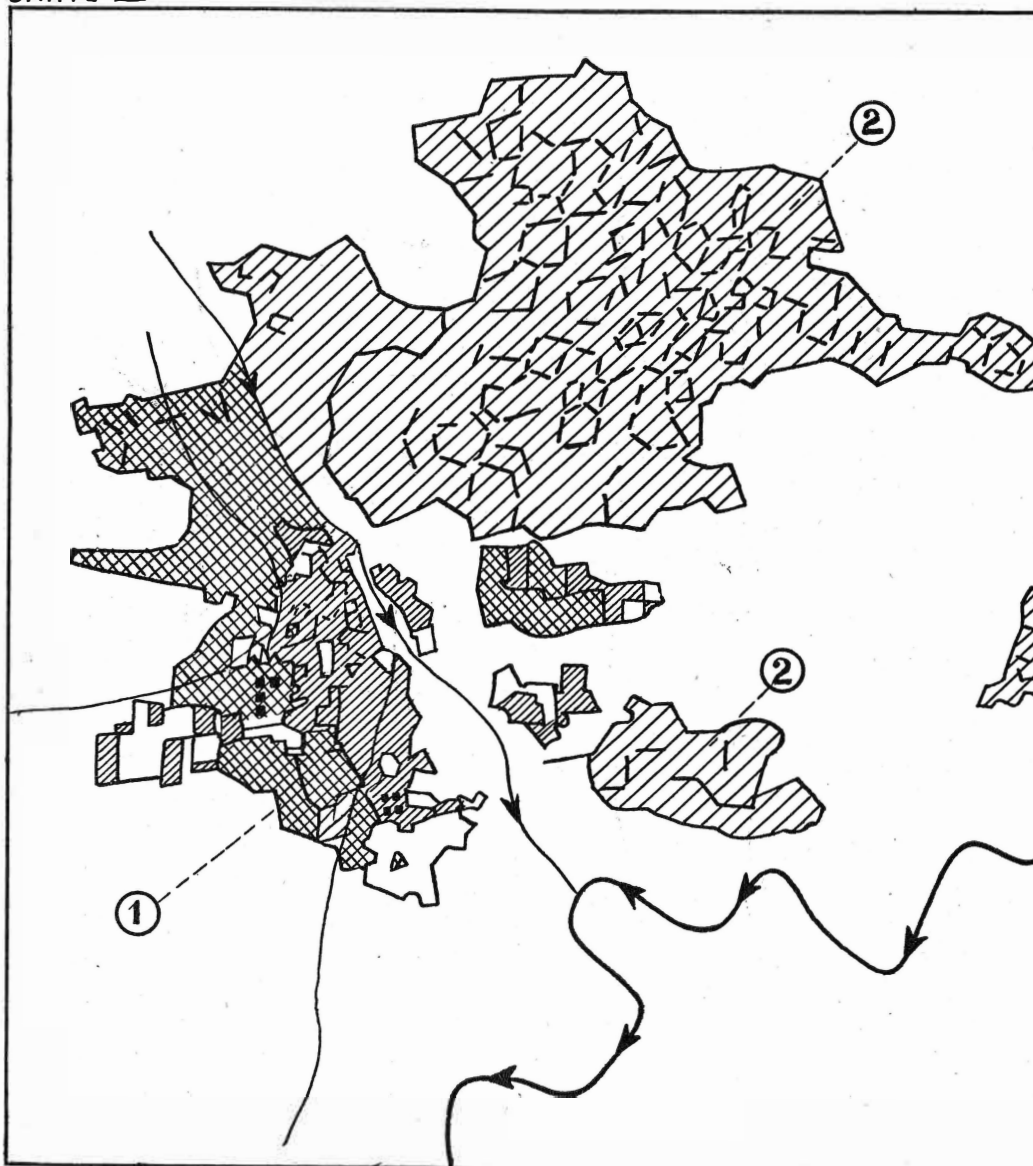
Cette méthode a donné en Casamance (1) de bons résultats, mais il faut être prudent et comparer toujours les résultats théoriques avec

ceux recueillis sur le terrain. Certaines essences de grands arbres : Ficus, Fromagers, etc., sont sans valeur, il faut en tenir compte.



(1) Au sud du Sénégal, à la frontière de la Guinée portugaise.

La carte n° 2, extraite de la carte forestière aérienne de la Casamance, illustre le procédé.



CARTE III



Legende

 2 à 5 ans  
 très vieille jachères

Echelle  $\frac{1}{40.000}$

 plus de 5 ans  
 Agglomération

Exécutée d'après la photographie n° 93 du cheminement 45 du S. G.

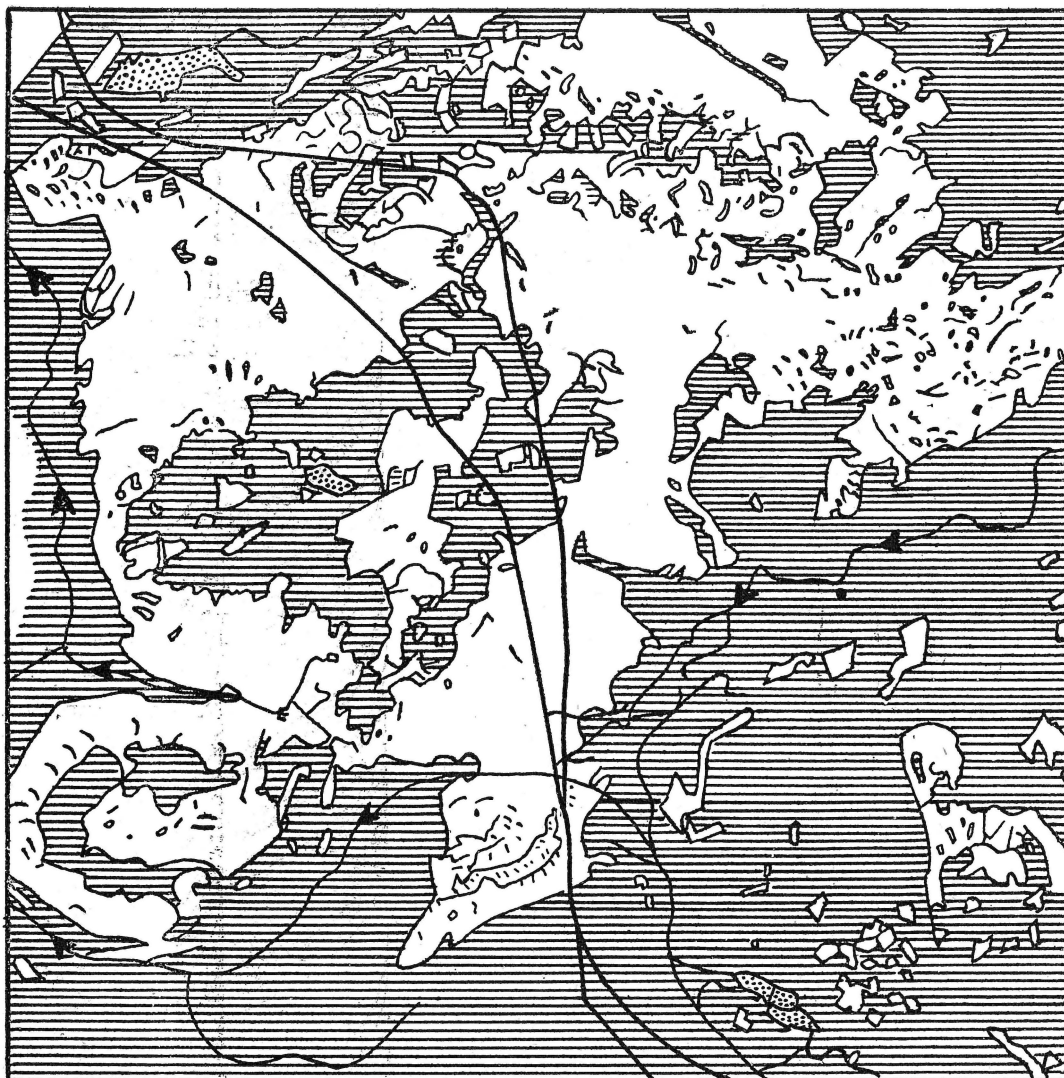
CYCLES CULTURAUX D'UN VILLAGE DE LA ZONE SOUDANAIENNE

Travaux préliminaires à l'exploitation des forêts

Pour la vidange des bois, il faut de multiples tâtonnements pour rechercher les tracés de routes les moins coûteux, éviter les marécages, les marigots, les barres rocheuses. Il en est de même pour l'établissement des wharfs, des appointements.

L'observation stéréoscopique des clichés permet de résoudre aisément ces problèmes, de déterminer le tracé des voies de vidange sur les photographies avant de les construire sur le terrain et de choisir judicieusement les points d'embarquement.





### Legende

— route  
 ▨ champs de cultures actuels

→ marigot

▨ bowals encore recouverts de végétation assez claire et vallée boisée des marigots.

Echelle  $\frac{1}{40000}$

*Exécutée d'après la photo n° 55 du cheminement 44 du S. G.*

### BOWALS LATÉRIQUES DE PENTE DE LA RÉGION COMPRISE ENTRE GAOUAL ET YOURKOUNKOUN

#### Pédologie et dégradation des sols

Les photographies rendent les plus grands services, mais, sous peine d'erreurs, il faut comparer soigneusement l'aspect du terrain et celui des photographies, la meilleure technique est de circuler avec constamment à la main les photographies de la zone traversée.

Au cours d'une mission de pédologie au Soudan et en Guinée, nous avons utilisé 3.000 kms de cheminements aériens recouvrant près de 60.000 km<sup>2</sup> ; nous avons pu ainsi juger de l'ampleur considérable des dégradations des sols rouges d'alluvions des savanes souda-



niennes et des sols latéritiques. Les environs des grandes agglomérations sont particulièrement touchés.

Le caractère périodique des cultures indigènes apparaît sur les photos, alors que sur le terrain on ne voit souvent pas grand chose. La carte n° 3, qui met en évidence les cycles culturaux d'un village de la zone soudanienne, montre la zone actuelle de culture d'un village avec ses jachères de 5 à 10 ans, tandis qu'on devine à l'Ouest toute une zone anciennement cultivée, absolument invisible sur le terrain, actuellement abandonnée, mais qui sera probablement remise en cultures d'ici une vingtaine d'années.

Sur certains sols latéritiques, les photographies révèlent l'action dégradante des cultures de l'homme en des lieux maintenant déserts. La carte n° 4 montre que les restes de végétation forestière, qui occupent le sommet de mame-lons à faible pente, sont limités par des contours polygonaux dus à l'existence de culture plus ou moins anciennes.

L'examen au stéréoscope des photographies relatives aux formations latéritiques appelées

« bowals » (mot qui désigne en foulah une surface subhorizontale, latéritique et sans végétation) montre leur relation avec les anciennes pénéplaines et les cycles d'érosion. Le phénomène est à l'échelle géologique.

Dans la région du Cap-Vert aux environs de Dakar, l'action des vents alizés, qui mobilisent le sable des terrains dégradés par le pâturage abusif, apparaît nettement sur les photos ; c'est un phénomène récent, on voit les limites des champs qui s'effacent progressivement, tandis que les dépressions fertiles appelées Niaves sont peu à peu comblées.

Nous n'avons fait qu'esquisser quelques applications des photographies aériennes pour les sciences forestières.

Elles peuvent rendre des services inappréciables à conditions : d'avoir un observateur et un dessinateur exercés, d'éviter les généralisations hâtives et de comparer toujours soigneusement les données des clichés et celles du terrain.

P. BELLOUARD,

*Inspecteur principal des Eaux et Forêts.*

