

NATIONS UNIES  
CONSEIL  
ECONOMIQUE  
ET SOCIAL



610703241

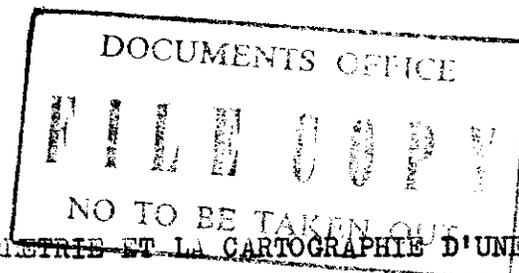


Distr.  
LIMITEE

E/CN.14/CART/193  
1er septembre 1966

FRANCAIS  
Original : ANGLAIS

COMMISSION ECONOMIQUE POUR L'AFRIQUE  
Deuxième Conférence cartographique  
régionale des Nations Unies pour l'Afrique  
Tunis (Tunisie), 12-24 septembre 1966  
Point 12 b) de l'ordre du jour provisoire



LA PHOTOGRAMMETRIE ET LA CARTOGRAPHIE D'UNE REGION

Document présenté par le Gouvernement des Etats-Unis d'Amérique

TU-1  
M66-1116



LA PHOTOGRAMMETRIE ET LA CARTOGRAPHIE D'UNE REGION<sup>1/</sup>

## RESUME

On comparera ci-après trois systèmes différents utilisés pour l'établissement de la carte d'une région jusqu'alors vierge. Les trois systèmes ont recours à la photographie : le premier à partir d'un satellite artificiel, le second à partir d'un avion volant à très haute altitude et utilisant des références auxiliaires, et le troisième, d'un avion classique volant à haute altitude et équipé ou non d'un matériel auxiliaire. Pour chacun des systèmes, l'aérocheminement analytique joue le rôle essentiel.

L'aérocheminement analytique est une méthode de calcul par laquelle toutes les photographies d'une région, ou "bloc" sont compensées simultanément pour s'adapter entre elles et aussi au canevas géodésique normal ainsi qu'à toutes références auxiliaires (obtenues par exemple avec une chambre solaire) que l'on désirerait utiliser. Les calculs donnent les coordonnées spatiales X, Y, Z de différents objets figurant sur chaque photographie; ces points sont considérés comme points de repère pour les préparations faites ultérieurement à l'aide d'instruments de restitution stéréoscopique. Les références d'origine utilisées sont les coordonnées x, y des images figurant sur les photographies, mesurées à l'aide d'un comparateur.

Si l'on suit l'ordre indiqué ci-dessus, la précision à laquelle on peut s'attendre pour chaque système est progressivement décroissante, la plus grande précision étant de l'ordre de 2 à 5 mètres. Néanmoins, le troisième système, c'est-à-dire le moins bon, présente l'avantage d'être disponible immédiatement. La marge d'erreur peut aller jusqu'à 120 mètres, mais les erreurs peuvent être corrigées ou interprétées ultérieurement quand on dispose d'un canevas dense de points de repère suffisant. Les résultats obtenus peuvent être largement assez précis pour une carte planimétrique de reconnaissance à l'échelle 1/50.000 destinée à l'inventaire des ressources et à l'aménagement d'une région.

---

<sup>1/</sup> G.C. Tewinkel, Prospecteur photogrammètre, Laboratoire géodésique, Institute for Earth Sciences, Environmental Science Services Administration, U.S. Department of Commerce.

## INTRODUCTION

Cette étude est présentée en liaison avec deux autres études préparées pour la même conférence : "Satellite Triangulation" (triangulation par satellite) de Lansing G. Simmons, et "Aerial Photography for Surveying and Mapping" (photographie aérienne pour les levés et les cartes) de William D. Harris. Ces études présentent l'une et l'autre des suggestions applicables au traitement de grandes zones encore dépourvues de cartes, telles que certaines régions d'Afrique, ou le continent tout entier. Le présent document expose les principes de l'aérocheminement analytique et les conditions dans lesquelles cette technique peut être utilisée avantageusement.

Cette étude se fonde sur plusieurs hypothèses. Il est possible d'établir des points géodésiques au moyen de la triangulation par satellite, mais on ne voit pas très bien l'époque où on pourra le faire; il semble logique de penser que cette réalisation pourrait être considérablement accélérée si toutes les populations de la région s'entendaient pour la réclamer. En attendant, il pourra être nécessaire d'appliquer certaines techniques intérimaires. Différents types de photographie aérienne sont suggérés dans le document de M. Harris; ils sont considérés comme parfaitement appropriés, mais une troisième solution est présentée ici pour des raisons d'opportunité. Pour toutes ces suggestions, on admet que l'aérocheminement analytique est la méthode la plus rapide, la moins onéreuse, la plus précise et la plus appropriée pour l'utilisation efficace des repères au sol.

On suppose également que des cartes sont immédiatement nécessaires à la région considérée pour l'inventaire des ressources naturelles et pour la planification économique. Si ces cartes existaient, ou devraient exister dans une année ou deux, une nécessité économique très importante s'en trouverait comblée. En conséquence, il semblerait qu'une carte à l'échelle 1/50.000, ou plus petite sans courbes, satisferait les besoins les plus urgents, sauf dans le cas de petites zones isolées

où l'on aurait envisagé des projets industriels (Hotine, 1965; Schermerhorn, 1964, essais par Gamble, Koushin et Wiggins; Zarzycki, 1963).

En conséquence, on pourrait suggérer que des vues photographiques soient prises à l'échelle 1/100.000 avec des pellicules en couleur et aussi sensibles aux infra-rouges, s'il y a lieu, se recouvrant de 60 pour 100 dans les deux sens, la chambre étant équipée d'un objectif super grand angulaire de 9 cm de distance focale, à l'altitude de 9.000 mètres. Ce programme pourrait être préparé et mis en oeuvre presque immédiatement, si la saison et les conditions atmosphériques s'y prêtent.

L'aérocheminement analytique et la préparation ultérieure des cartes peuvent être réalisés sans références auxiliaires, mais la moindre de ces références ajoute de la précision au système. L'aérocheminement analytique permet d'inclure toute référence auxiliaire possible et d'en mesurer l'influence (le poids). M. Harris a mentionné la chambre solaire et l'altimètre laser, qui représentent l'idéal. Autres auxiliaires possibles : SHIRAN, APR (Air Profile Recorder), chambres d'horizon, statoscope, etc., (Bush, 1964; Corten, 1964; Di Carlo, 1964; Jeri, 1966; Livingston, 1966; Zarzycki, 1964).

De toute évidence, un canevas géodésique très dense est nécessaire pour que les cartes soient précises. Mais une carte de reconnaissance planimétrique peut être réalisée sans aucun repère. Toutefois, quelques repères planimétriques provisoires sont utiles ainsi que quelques cotes (barométriques) réparties à travers la région. D'ailleurs, un nouvel aérocheminement analytique provisoire peut être entrepris ultérieurement avec les mesures photographiques primitives, à l'époque où un canevas plus dense de repères précis aura été établi.

## AEROCHEMINEMENT ANALYTIQUE

L'aérocheminement analytique est subordonné à l'emploi d'un calculateur électronique (Harris, et al., 1962; Horsfall, 1964; Keller et al., 1964-1966; Umbach, 1966). L'expression "compensation par bloc" se rapporte au calcul et à la compensation simultanés de toutes les photographies qui se recouvrent (Tewinkel, 1966). Un système général est utilisé par le U.S. Coast and Geodetic Survey.

Les références de départ sont les coordonnées  $x$ ,  $y$  d'images choisies sur des diapositives photographiques (en couleur aussi bien qu'en noir et blanc) mesurées à l'aide d'un instrument appelé un comparateur. La meilleure précision d'un comparateur est de l'ordre du micron (1/1000 mm). Les données de départ comprennent également les points de repère et les références utilisées après avoir été "pondérées" de manière appropriée.

Les résultats sont principalement les coordonnées  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  de tous les objets correspondant aux images choisies. Ces coordonnées peuvent être utilisées comme points de repère quand on règle un appareil de restitution pour préparer des cartes, en utilisant soit les mêmes, soit d'autres diapositives. Les données de sortie comprennent également les coordonnées  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  de chaque point de prise de vues, ainsi que les trois angles d'orientation de chaque photographie, et l'estimation des erreurs pour les images, pour les photographies et pour le système tout entier. Le critère de cette solution, c'est de réduire à un minimum tous les écarts dans les mesures des images, tout en les adaptant judicieusement à tous les repères et à toutes les références auxiliaires. La base mathématique réside dans le fait que les trois points, image, objet et centre de perspective doivent se trouver sur une même ligne pour chaque série image-objet; s'il n'en est pas ainsi, c'est qu'il y a une erreur dans la mesure des coordonnées de l'image.

On s'efforce de prendre en considération toutes les erreurs systématiques connues avec toute la précision nécessaire. Ces erreurs

peuvent être dues à la distorsion de l'objectif, à la distorsion du film ou aux éléments de l'étalonnage du comparateur. On tient également compte de la courbure de la terre et de la réfraction atmosphérique.

Les bandes de photographies ne sont pas considérées comme des bandes lors des calculs préliminaires bien qu'elles puissent être initialement analysées comme telles. Dans la compensation par bloc, on considère chaque photographie comme un élément isolé. Le chevauchement latéral de 60 pour 100 permet :

- 1) de s'affranchir de la direction du vol;
- 2) d'obtenir une égale rigueur de la compensation dans toutes les directions; et
- 3) de s'affranchir de la nécessité des vols de contrôle.

Bien que les références auxiliaires ne soient pas encore prévues dans le programme du Coast and Geodetic Survey, on peut les incorporer à tout moment maintenant que le programme progresse régulièrement. Il sera alors possible de spécifier :

- 1) la distance au sol (électronique) entre deux stations, sans que leurs coordonnées soient connues;
- 2) l'azimut (solaire, polaire) entre deux stations, de la même manière;
- 3) l'inclinaison longitudinale et transversale ( $\omega, \varphi, \alpha, \beta$ ) de la chambre à l'aide des photographies de l'horizon;
- 4) l'altitude (altimètre) de la caméra par rapport à un point;
- 5) l'azimut  $K$  de la chambre telle que fournie par une caméra solaire simultanée;
- 6) les éléments de l'inclinaison longitudinale et transversale fournis par une chambre solaire;
- 7) les coordonnées  $X$  et  $Y$  de la caméra, fournies par le SHIRAN; etc.

Plusieurs des appareils permettant d'obtenir ces catégories de références existent d'ores et déjà; certains donnent lieu à des difficultés à l'emploi et sont onéreux et d'autres ne sont pas encore fabriqués.

L'importance des calculs nécessaires à la compensation de blocs de grandes dimensions est assez effarante. Cependant, les frais de calcul diminuent rapidement. Pour de petits blocs, ces frais paraissent abordables, même à l'heure actuelle. Par exemple, avec un calculateur assez grand, les temps et frais pour deux blocs ont été : 18 photographies, 9 minutes, 45 dollars des Etats-Unis et 40 photographies, 48 minutes, 225 dollars des Etats-Unis. Ces frais comprennent les temps consacrés à des opérations autres que le calcul, alors qu'avec d'autres calculateurs, les frais ne concernent que la période consacrée aux calculs proprement dits. On peut, logiquement, supposer qu'il est possible de prendre les dispositions requises pour employer le plus grand calculateur existant pour les calculs d'aérocheminement analytique, quelles que soient les dimensions de la région considérée et que le coût ne sera pas prohibitif (c'est un principe général que les plus grands calculateurs sont les plus économiques). En attendant, on peut restreindre largement le recours aux calculateurs par l'application de techniques permettant d'opérer dans des conditions optimales, en sorte que, le programme actuel étant encore nouveau, les dépenses pourront être réduites substantiellement au cours des mois à venir.

Le U.S. Coast and Geodetic Survey met en oeuvre actuellement une série de programmes impliquant l'utilisation de calculateurs pour l'aérocheminement; ils sont tous, soit déjà publiés, soit en cours de publication (par exemple, références Keller, Horsfall, Umbach). Le point essentiel de cette série est "la compensation par bloc", qui est conçue pour 105 photographies, mais qui peut être élargie pour n'importe quel nombre pratiquement en fonction du problème et du calculateur. On peut indiquer ici que les programmes de H. C.T. Horsfall, de Lagos (Nigeria), et complétés par Umbach, ont été préparés pour s'adapter à un calculateur de taille moyenne qui existait dans le pays, permettant le traitement de bandes de photographies aériennes de longueur moyenne.

## DISCUSSION GENERALE

Si le coût du calcul des compensations par bloc augmente en fonction du nombre de photographies, il en est de même de l'erreur probable affectant les résultats (en l'absence de canevas géodésique) en raison d'une propagation de forme quadratique des petites erreurs systématiques indéterminées. Ces erreurs entraînent une déformation apparemment systématique du bloc (d'autant plus nette que les bandes sont longues et étroites). Par exemple, une bande de 18 photographies à l'échelle 1/40.000, redressée seulement aux extrémités présentait au centre une flèche planimétrique de 30 mètres. L'ordre de grandeur semble être grosso modo proportionnel au carré du nombre de photographies et l'effet apparaît dans les trois dimensions sans qu'il y ait peut-être de relations entre les divers éléments.

Étudions les différences qui existent entre les frais de calculateur et les erreurs pour différents types de photographies (en reprenant certains concepts dans le document de M. Harris) pour une superficie hypothétique de 300 km x 300 km (tableau 1).

TABLEAU 1

Estimation des frais de calculateur et des erreurs résiduelles pour une superficie de 300 km x 300 km

Type de photographie	Altitude (km)	Echelle	Nombre de photographies	Frais de calcul	Erreur (m)	Dimension de l'objectif (m)
Par satellite	200	1/300.000	8	24\$	3 à 5	40
Par avion de haute altitude (avec chambre solaire et altimètre)	23	1/150.000	525	12.500\$	2 à 3	4,5
Par avion ordinaire (altitudes barométriques et 4 points de repère)	9	1/100.000	1100	36.300\$	120	3

On a considéré qu'on utilisait des repères planimétriques et altimétriques pour les quatre sommets. En ce qui concerne le dernier exemple, on suppose qu'on dispose de 25 altitudes barométriques environ réparties à travers la zone et relevées par hélicoptère (ce qui est nécessaire même dans le cas du concept planimétrique).

Les frais de calculateur ne sont pas les seuls éléments, toutefois, à prendre en considération. Les dépenses correspondant à l'équipement et au lancement d'un satellite sont considérables et ne sont probablement rentables que si elles s'appliquent à de vastes régions, telles qu'un continent. L'emploi de satellites permettra d'atteindre le plus haut degré de précision de la manière la plus directe. En matière de préparation au sol, il n'y a guère que la détermination des objectifs à considérer. Naturellement, l'idéal serait d'utiliser un grand nombre d'objectifs, un peut-être tous les 10 km, afin d'établir au sol un réseau dense et précis qui pourra servir ultérieurement pour des frais supplémentaires minimes.

La méthode fondée sur le recours à des avions volant à très haute altitude est également pleine de promesses. On fabrique à l'heure actuelle des avions et des accessoires parfaitement adaptés aux opérations envisagées.

Quant à la solution faisant appel à des avions volant à des altitudes plus basses, elle offre l'avantage d'être immédiatement possible avec les matériels existants; mais si elle permet les frais les plus bas pour la photographie, les frais de calcul sont les plus élevés. Cette méthode ne fournit que des cartes de la catégorie dite de reconnaissance, dont les possibilités sont limitées. Cependant, une carte de reconnaissance immédiatement disponible, du fait qu'elle paraît en temps opportun, peut avoir une grande portée économique pour le développement d'une région, en ce sens qu'un délai supplémentaire de deux à dix ans requis pour la réalisation de meilleures cartes, peut compromettre les progrès des populations d'une région, tout en coûtant très cher.

Ces photographies, en couleur, à l'échelle 1/100.000 permettent d'établir des cartes au 1/50.000 avec des instruments stéréoscopiques ordinaires. Même si les cartes ainsi dressées ne sont que des cartes de reconnaissance, étant donné qu'elles peuvent indiquer une situation géographique fautive, elles n'en sont pas moins très cohérentes entre leurs limites. De plus, elles montrent les caractéristiques hydrographiques, les routes, les villages, les montagnes et la nature de la végétation. Si les courbes de niveau en tant que telles ne présentent pas grand intérêt, on peut néanmoins obtenir des altitudes dont l'erreur par rapport au plan de référence ne dépasse pas 50 mètres, selon la densité des cotes barométriques fournies. Des levés couvrant certaines zones de la région, ou la région tout entière, peuvent être recompensés ultérieurement quand un canevas géodésique plus dense existera.

Il semble que la triangulation par satellite destinée à l'établissement d'un canevas géodésique puisse être réalisée effectivement avant que les levés géodésiques classiques puissent être entrepris. La densité et la précision des levés par satellite doivent être, en fin de compte, largement suffisantes pour l'établissement de cartes au 1/50.000 classiques.

#### CONCLUSION

On peut recommander d'adopter l'aérocheminement analytique pour une région éloignée en utilisant l'un des trois types de photographie aérienne : par satellite, par avion volant à très haute altitude et par avion classique volant à haute altitude. Les deux premiers types semblent particulièrement intéressants, car ils sont très précis et se prêtent aisément au calcul. Le dernier peut être intéressant du fait qu'il est presque immédiatement disponible avec des appareils courants pour la réalisation en temps opportun de cartes destinées à l'inventaire des ressources et la planification économique d'une région.

REFERENCES

- Bush, E. William, and Michael J. Pappas, 1964. Shiran — AN/USQ-32 microwave geodetic survey system, International Archives of Photogrammetry, 15(3), 1965 : 22 pages
- Corten, F.L., 1964. A survey navigation system, International Archives of Photogrammetry, 15(3), 1965 : 15 pages
- Di Carlo, G. and G.J. Fakin, 1964. Mapping and survey system geodetic AN/USQ-28, International Archives of Photogrammetry, 15(3), 1965 : 30 pages
- Harris, W.D.; G.C. Tewinkel, C.A. Whitten, 1962. Analytic aerotriangulation in the Coast and Geodetic Survey, Photogrammetric Engr., 28(2) : 44-69
- Horsfall, C.T., 1965. Aerotriangulation strip adjustment using Fortran and the IBM-1620 computer, U.S. Coast and Geodetic Survey monogramme, 23 pages. (See Umbach, 1966)
- Horsfall, C.T., 1965. Electronic computer programme for analytical aerial triangulation, U.S. Coast and Geodetic Survey monogramme, 63 pages. (See Umbach, 1966)
- Hotine, Brig. Martin, 1965. Rapid Topographic Surveys of New Countries, Surveying and Mapping, 25(4) : 557-559
- Jerie, Dr. H.G., 1966. Theoretical height accuracy of strip and block triangulation with and without use of auxilliary data, Photogrammetria
- Jerie, Dr. H.G., 1966. Report on two special triangulation Projects, Photogrammetria
- Keller, Horton and G.C. Tewinkel, 1964-1966. Analytic aerotriangulation, Coast and Geodetic Survey Technical Bulletin Nos 23, 25. 29
- Kingsley, Robert H., 1964. A new technique for aerial mapping, International Archives of Photogrammetry, 15(3), 1965 : 8 pages
- Livingston, Robert H., 1966. Airborne mapping equipment quality control (AN/USQ-28), Photogrammetric Engr., 32(2) : 390-407
- Schermerhorn, Willem, 1964. Willem, 1964. Willem Schermerhorn, Jubille Volume. W.D. Heerma Ed., Delft, 241 pages. (In particular, the essays by Gamble, Tewinkel, Konshin, Wiggins, Schmid)

- Swanson, Capt. L.W., 1964. Aerial photography and photogrammetry in the Coast and Geodetic Survey, International Archives of Photogrammetry, 15(2), 1965 : 29 pages
- Tham, Dr. Percy, 1964. Photogrammetry in the tropics, International Archives of Photogrammetry, 15(3), 1965 : 9 pages
- Tewinkel, G.C., 1966. Block analytic aerotriangulation, Photogrammetric Engr., 32(6).
- Umbach, Melvin J., 1966. Supplement to Horsfall programme, U.S.S Coast and Geodetic Survey monogramme, 67 pages
- Zarzycki, Dr. J.M., 1964. The use of horizon camera, doppler navigator, and statoscope in aerial triangulation, International Archives of Photogrammetry, 15(5), 1965; 30 pages
- Zarzycki, Dr. J.M., 1963. Super-infragon photography and auxilliary data on a mapping programme for Nigeria, Canadian Surveyor, 17(1) : pp. 13-26

- - - - -