



NATIONS UNIES
CONSEIL ÉCONOMIQUE ET SOCIAL

52099

Distr.
LIMITÉE

E/CN.14/CART/311
25 octobre 1972

FRANCAIS
Original: ANGLAIS

COMMISSION ECONOMIQUE POUR L'AFRIQUE

Troisième Conférence cartographique régionale
pour l'Afrique

Addis-Abéba, 30 octobre - 10 novembre 1972
Point 7 b) de l'ordre du jour provisoire

UN SYSTEME GEODESIQUE UNIFIE POUR L'AFRIQUE*

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

RESUME

La connaissance géodésique du continent africain est encore insuffisante pour permettre de relier tous les réseaux en un système uniforme sur un seul ellipsoïde bien adapté. Les coordonnées de plusieurs stations de repérage par satellites ont été établies, mais il en faudra encore davantage pour qu'une image nette de géoïde puisse se dégager. Les coordonnées de nouvelles stations de repérage peuvent désormais être déterminées avec précision et rapidité au moyen des méthodes Doppler. Les dimensions de l'équipement ont été réduites et il a été récemment mis à l'essai par les Etats-Unis pour des opérations géodésiques. Cette méthode est actuellement utilisée par l'équipe britannique au Kenya et un grand nombre d'autres projets sont prévus. Lorsqu'une station Doppler est installée dans une station astronomique ou lui est reliée, la courbure du géoïde résulte d'une comparaison des coordonnées horizontales. Quand la station est établie en un point de contrôle altimétrique, une comparaison des coordonnées verticales fournit directement le rayon du géoïde. Le contrôle altimétrique existant dans de nombreuses régions d'Afrique où il n'y a pas de contrôle planimétrique, la méthode Doppler devrait permettre d'acquérir une bonne partie des informations supplémentaires qui sont nécessaires pour la détermination d'un ellipsoïde de référence bien adapté pour l'Afrique. L'exactitude du système Doppler pour la détermination des positions, fondé sur le test du Geociever aux Etats-Unis, ainsi que d'autres utilisations possibles du système sont également exposées.

* Par Erich H. Rutscheidt, Defense Mapping Agency Topographic Centre, Washington D.C. 20315.

I. INTRODUCTION

Des travaux de levé de grande qualité ont été effectués en Afrique au cours des 100 dernières années. Un système de bons réseaux de base interconnectés couvre un tiers environ du continent. De nombreux levés locaux de grand intérêt ont été réalisés dans les deux autres tiers, mais les zones ne faisant pas l'objet de levés géodésiques sont encore vastes (figure 1). Le but à atteindre est évidemment un réseau continental unifié qui puisse servir de base pour la cartographie, pour la définition et la description exacte des frontières et pour les levés nécessaires aux services de travaux publics et aux entreprises privées aux fins du développement national. On pourra y parvenir après des années d'efforts intenses à un niveau strictement national, avec des résultats proportionnés aux ressources qui auront pu y être consacrées ou, de façon beaucoup plus efficace et économique, au moyen d'efforts bien planifiés et coordonnés portant sur de vastes régions et faisant éventuellement intervenir un grand nombre de pays. La mise en commun des ressources, ainsi que l'exploitation systématique de la géodésie par satellite présenteraient de grands avantages. La méthode proposée peut utiliser effectivement la géodésie existante du continent, notamment:

- 1) Les réseaux de contrôle planimétrique, qu'ils soient ou non reliés à d'autres réseaux;
- 2) Les canevas altimétriques, en particulier dans les régions où il n'existe pas de réseaux planimétriques;
- 3) Les points astronomiques établis dans des zones reculées, utilisés pour la cartographie de régions dépourvues de réseaux de contrôle planimétrique;
- 4) Les contrôle établis au moyen de méthodes par satellite, notamment la méthode optique BC-4, la méthode électronique SECOR (Sequential Collation of Range) et la méthode électronique Doppler.

Lors de la première Conférence cartographique régionale pour l'Afrique tenue à Nairobi en 1963, la nécessité d'un système géodésique commun pour l'Afrique avait été reconnue et il avait été recommandé que tous les pays travaillent à sa mise en place. Il avait été aussi recommandé que le plan de référence soit l'arc compensé du 30ème méridien et que le raccordement reliant l'arc à l'Afrique de l'Ouest soit terminé le plus tôt possible. On avait seulement noté alors que l'utilisation des satellites pour les observations géodésiques ouvrirait une ère nouvelle dans le domaine des mesures géodésiques.

Trois ans plus tard seulement, à la deuxième Conférence régionale pour l'Afrique tenue en 1966 à Tunis, l'accent se trouvait mis sur la géodésie par satellites. La nécessité d'un système géodésique commun pour l'Afrique avait été à nouveau reconnue et il avait été recommandé que les pays africains encouragent et appuient l'utilisation des satellites aux fins d'observations géodésiques visant à la mise en place d'un système géodésique commun pour l'Afrique.

En 1970, à la quatrième conférence sud-africaine sur les levés nationaux tenue à Durban, Irene Fischer, du Topographic Command de l'armée des Etats-Unis (devenu depuis le Defense Mapping Agency Topographic Centre) a présenté un document intitulé "Constructing a geodetic datum that fits a continent" 1/. Elle y exposait des exemples de systèmes nationaux, continentaux et mondiaux et décrivait la construction du système géodésique et le géoïde correspondant pour les continents australien et sud-américain. Ce document rapportait un cas intéressant relatif au continent africain. A partir de données recueillies le long de l'arc du 30ème méridien, l'auteur démontrait que le système su-africain et le système Adindan convenaient bien (du point de vue de la séparation géoïde-ellipsoïde) dans leurs propres territoires mais mal au-delà de ceux-ci, bien que l'ellipsoïde de référence fût le même. En revanche, ce même arc, rapporté à un système universel, se révélait bien adapté sur toute sa longueur. Les lignes de base doivent être réduites du géoïde à l'ellipsoïde, ce qui cause une distorsion si la séparation est importante ou exige l'application de méthodes de correction complexes destinées à remédier aux distorsions causées par un plan de référence mal adapté. Tel n'est pas le cas pour un système bien adapté. Un système géodésique unique, avec de petites séparations géoïdales est indispensable pour le continent africain et y jouera un rôle utile.

II. RESUME DE PROGRAMMES DE LEVES AMERICANO-AFRICAINS RECENTS

Au cours des dernières années, de nombreux programmes d'opérations géodésiques ont été réalisés et des résultats intéressants atteints, en exécution des recommandations faites à des conférences africaines antérieures. Les principaux programmes africains entrepris par les Etats-Unis, ou auxquels ils ont participé, sont passés ici en revue pour montrer comment ont été établis de grands réseaux géodésiques, des liaisons intercontinentales entre des réseaux existants et une puissante armature continentale au moyen de l'observation de satellites terrestres artificiels.

a) En 1954, 1 000 kilomètres de triangulation géodésique le long de l'arc du 30ème méridien ont été achevés 2/, ainsi que des raccordements à des triangulations existantes, à la base de Semliki en Ouganda et à la base d'Abu Qarn au Soudan. Une considération importante attachée au tracé et à la mesure de l'arc du 30ème méridien tenait aux résultats qui pourraient en découler pour l'étude de la forme de la terre. A cet effet, il était nécessaire de procéder à une compensation de l'arc du Caire à Port Elizabeth en Afrique du Sud, ce qui a exigé un nombre accru de points de Laplace. En conséquence, un programme coopératif a été entrepris en 1953 pour qu'un nombre suffisant de points de Laplace soient observés

1/ I. Fischer, Constructing a geodetic datum that fits a continent, Fourth South African National Survey Conference, Durban (Afrique du Sud), juillet 1970.

2/ D.L. Mills, US Engineers' Geodetic Surveys in Central Africa, document présenté à la Conférence cartographique régionale des Nations Unies pour l'Afrique, Nairobi (Kenya), juillet 1963.

d'un bout à l'autre de l'arc. C'est ainsi que des positions astronomiques avec azimuth ont été réalisées en Egypte, en Ouganda, en République-Unie de Tanzanie, en Zambie, en Rhodésie et en Afrique du Sud. Par la suite, entre 1960 et 1962 le Survey Department du Soudan a observé une chaîne de triangulation partant de l'arc du 30ème méridien et se prolongeant vers l'ouest entre le 13ème et le 14ème parallèle jusqu'à la frontière du Tchad qui a finalement constitué le plan de référence de départ pour le levé du 12ème parallèle. Le Survey Department du Soudan a bénéficié de l'assistance du génie de l'armée des Etats-Unis et de l'Agency for International Development (AID) pour la mesure des bases géodimétriques et l'observation des positions astronomiques. Au cours de ce programme conjoint, un nombre accru de positions astronomiques ont été observées en vue de l'établissement d'un profil est-ouest du géoïde.

b) En 1956, le Gouvernement des Etats-Unis a entrepris, sur la demande du Gouvernement libyen, un programme cartographique important le long de la côte nord de la Libye. Un réseau de triangulation de base avec positions astronomiques et bases géodimétriques a été étendu vers l'est, de la base de Medenine en Tunisie jusqu'à la frontière égyptienne. Un canevas d'ordre inférieur a été établi à partir des réseaux de base pour faciliter la préparation de cartes au 1:50 000 et au 1:250 000. Des marégraphes ont été installés le long de la côte et un canevas altimétrique a été établi sur l'ensemble de la zone cartographiée. L'ancien canevas italien n'a pu être récupéré que dans une très faible mesure et seuls quelques raccordements communs ont été possibles. L'achèvement du réseau planimétrique de base en Libye a permis la clôture du circuit encerclant la mer Méditerranée, malgré l'absence d'une liaison directe avec le réseau égyptien.

c) Entre 1957 et 1961, le Projet du Nil bleu a permis l'établissement de réseaux de triangulation et d'altimétrie étendus dans le centre-ouest de l'Ethiopie. Il s'agissait là encore d'un programme conjoint réalisé par des techniciens du Gouvernement éthiopien et du Coast and Geodetic Survey des Etats-Unis (devenu depuis National Ocean Survey). Peu après l'achèvement de ce projet, une nouvelle étude a été entreprise pour établir un réseau de contrôle au moyen du système Hiran. Ce programme conjoint Etats-Unis-Ethiopie a démarré en 1963 et comprenait deux missions indépendantes utilisant les techniques Hiran: trilatération pour le canevas et photographie redressée pour cartographie à moyenne échelle. Le canevas Hiran était relié à la triangulation du Nil bleu, laquelle avait été à son tour raccordée au réseau de base soudanais. En 1963-1964, un cheminement tellurométrique précis complété par des positions astronomiques repérées par une station sur deux, partant de l'île de Perim dans la mer Rouge, a atteint la frontière soudanaise par le réseau Hiran Ethiopie et le projet du Nil bleu. Ainsi, le cheminement éthiopien est devenu un profil de géoïde en même temps que la continuation du 12ème parallèle à l'est de l'arc du 30ème méridien. Des canevas altimétriques précis ont été établis dans l'est et le sud de l'Ethiopie.

d) En 1964, un programme de levés aériens distincts a été entrepris au Libéria. Pour ce programme, le canevas altimétrique consistait en un réseau de triangulation Hiran qui était également utilisé pour

redresser la photographie aérienne couvrant l'ensemble du pays. Un cheminement tellurométrique de Monrovia à Nimba au nord reliait deux des stations Hiran et fournissait une vérification de l'échelle du réseau. Cependant, ce réseau planimétrique n'était pas relié aux réseaux qui existaient dans les pays environnants. Aussi a-t-on établi un plan de référence local fondé sur les observations astronomiques faites à l'aéroport de Roberts Field. Un canevas altimétrique a été établi pour l'ensemble de la région cartographiée et plusieurs liaisons ont été effectuées avec le canevas altimétrique en Sierra Leone. Le projet a été terminé en 1967.

e) Un cheminement géodimétrique précis le long du 12ème parallèle a été entrepris en 1967 et achevé au début de 1970 ^{1/}. Le cheminement s'étend sur une distance de 4 650 km. à partir du point de raccordement au canevas soudanais à la frontière soudano-tchadienne, et traverse le Tchad, le Nigéria, le Niger, la Haute-Volta et le Mali pour aboutir à la station de Dakar (Sénégal). La portion du cheminement qui traverse le Nigéria a été observée par une équipe composée de membres des services des levés des Etats-Unis et du Nigéria. Le reste du cheminement a été observé par l'Institut géographique national français (IGN), aux termes d'un contrat avec les Etats-Unis. Toutes les distances le long du cheminement ont été mesurées au moyen du géodimètre modèle A-D et des positions astronomiques ont été repérées par une stations sur deux, fournissant ainsi un nombre suffisant de données pour un profil de géoïde. Avec l'achèvement du 12ème parallèle, un réseau continu a été constitué, allant de la mer Rouge à l'arc du 30ème méridien et de là à la côte occidentale de l'Afrique (Dakar) en passant par le grand réseau du Nigéria. L'achèvement du levé du 12ème parallèle répondait à l'une des recommandations faites à la première Conférence cartographique régionale des Nations Unies pour l'Afrique tenue à Nairobi puisque le raccordement de cet arc à l'Afrique de l'Ouest a été terminé. La distance exactement mesurée entre Fort Lamy (Tchad) et Dakar a été utilisée comme mesure de base pour le Programme mondial de triangulation géométrique par satellite. L'arc du 30ème méridien et l'arc du 12ème parallèle sont considérés comme base du canevas géodésique classique du continent africains.

f) Plusieurs grands programmes géodésiques des Etats-Unis par satellite, pour chacun desquels il existe des stations sur le continent africain, ont été récemment achevés mais leurs résultats combinés n'ont pas encore été complètement analysés. Les plus importants de ces résultats, en particulier ceux du Programme mondial de triangulation géométrique par satellite (BC-4), seront exposés en détail dans un document distinct présenté à la Conférence. Nous ne noterons donc ici que l'emplacement des stations BC-4: Dakar, Fort Lamy, Addis Abéba et Johannesburg ainsi que les îles proches du continent: Ascension, Maurice, Seychelles (Mahe).

Au début de 1970, a été achevé le programme électronique SECOR (Sequential Collation of Range) encerclant la terre à peu près le long

^{1/} J.S. McCall, "Rapport sur l'achèvement du levé du 12ème parallèle en Afrique". Document présenté à la sixième Conférence régionale des Nations Unies pour l'Asie et l'Extrême Orient, Téhéran (Iran), novembre 1970.

de l'équateur. Tout système de mesure des distances étant en soi défec-
tueux du point de vue de la direction, certaines des stations SECOR ont
été situées au même emplacement que des stations optiques BC-4 pour per-
mettre d'orienter certaines lignes le long de ce réseau. Ces emplacements
communs étaient Dakar, Fort Lamy, Addis-Abéba et l'île de l'Ascension.
Une stations SECOR supplémentaire a été établie à Roberts Field (Libéria).
Ces stations permettront de procéder à des comparaisons indépendantes
avec le canevas classique ainsi qu'avec d'autres systèmes par satellite.

Comme on l'a vu plus haut, les programmes géodésiques des Etats-
Unis (à savoir le programme optique BC-4 et le programme électronique
SECOR) sont terminés; cependant, le programme électronique de détermina-
tion des positions par les méthodes Doppler, qui a été entrepris au
début des années 60, continue à être le principal instrument de la
Defense Mapping Agency (DMA) des Etats-Unis pour la détermination des
positions géodésiques. Les stations Doppler établies sur le continent
africain sont situées à Dakar, Fort Lamy, Addis-Abéba et Prétoria. Des
stations ont été également installées sur des îles proches du continent
à Las Palmas, Madère, Ascension, Maurice et Mahé. Ces positions ont
été observées au moyen d'un équipement Doppler très lourd, comprenant
des stations permanentes et des véhicules portatifs. On trouvera exposées
dans la section suivante les nombreuses raisons qui ont amené la DMA à
considérer le récepteur miniature Doppler comme l'instrument de l'avenir
pour la détermination des positions géodésiques.

Nous ne nous proposons pas d'exposer ici les arguments qui militent
en faveur de l'utilisation de la densification du système mondial de
canevas géométrique comme réseaux d'ordre zéro pour l'interpolation de
toutes les opérations géodésiques de surface, puisque cette question
a été traitée très en détail à une conférence précédente ^{1/}. Le présent
document a pour objet de démontrer comment les récepteurs mobiles Doppler
utilisables par tous les temps peuvent servir non seulement pour la
densification mais aussi à de nombreuses autres fins - amenant ainsi
des modifications importantes dans les méthodes permettant d'établir avec
rapidité et exactitude des positions géodésiques, quels que soient le
terrain et le temps, - et peuvent également être utilisées pour parvenir
à un système géodésique unifié à l'échelle du continent.

III. HISTORIQUE DE LA MISE AU POINT DE PROGRAMMES GEODESIQUES DOPPLER ET RESULTATS DE LA MISE A L'ESSAI DU RECEPTEUR MOBILE DOPPLER AUX ETATS-UNIS

Les travaux scientifiques qui ont abouti à la mise au point de la
géodésie dynamique par satellite consistaient à mesurer le déphasage
Doppler de signaux transmis par radio à partir du satellite russe Alpha
1957 (Sputnik I); ces mesures ont été effectuées par les spécialistes

^{1/} H.H. Schmid, "Satellites orientés vers la terre pour la géodésie,
la cartographie et l'étude des ressources terrestres - Sur un système
de référence mondial et ses incidences sur les réseaux géodésiques
nationaux". Document présenté à la sixième Conférence cartographique
régionale pour l'Asie et l'Extrême-Orient, Téhéran, novembre 1970.

du Laboratoire de physique appliquée (APL) de l'Université John Hopkins. En utilisant les données de déphasage Doppler, ils ont pu déterminer l'orbite du satellite. Peu après, on a pensé que le même type de mesure pourrait être appliqué au problème inverse, à savoir la détermination de l'emplacement d'une station d'observation à partir de l'orbite connue du satellite. L'APL a alors mis au point le système de repérage dit TRANET en vue de permettre à la marine des Etats-Unis de déterminer la position des navires pour faciliter la navigation.

Le système TRANET est fondé sur des mesures Doppler, si bien que la quantité physique fondamentale mesurée est la vitesse de propagation des ondes radio. Le déphasage Doppler est le résultat du mouvement relatif entre satellite et observateur et est une mesure directe du changement de la distance entre transmetteur et récepteur. En conséquence, si la position de l'observateur est exactement connue, le déphasage Doppler mesuré définira la vitesse du satellite durant le temps d'observation. Si des mesures Doppler sont réalisées à partir d'un certain nombre de stations d'observation relativement au centre de la terre, on peut utiliser cette information sur la vitesse - associée à une détermination convenable du champ de gravitation de la terre - pour calculer très exactement l'orbite de satellites. Inversement, on peut combiner les mesures Doppler pour déterminer l'emplacement inconnu d'une station d'observation, à partir de l'orbite connue d'une satellite.

Le système Doppler a permis d'obtenir des données géodésiques exactes; c'est un outil géodésique utilisable par tous les temps et relativement peu coûteux pour notre budget car, heureusement, la marine paie, au titre de son programme de navigation, la fabrication et le lancement des satellites.

Le nombre et l'emplacement des stations géodésiques établies sur le continent africain et à proximité ont été indiqués à la précédente section. Le poids de l'équipement Doppler requis pour chaque station est d'environ 6 000 kg. Au cours des dernières années, plusieurs sociétés américaines ont fabriqué avec succès des récepteurs Doppler miniature qui pèsent très peu par rapport à ceux de la première génération.

La Defense Mapping Agency a passé un marché pour l'achat d'équipements Doppler miniatures, appelés GEOCEIVERS (Geodetic Doppler Receivers). Le Goeceiver consiste en une antenne, un récepteur, un enregistreur à bande de papier et une source d'énergie. Lorsqu'on ne dispose pas au point de station d'un réseau électrique, un générateur portatif est nécessaire. Tout l'appareil pèse environ 45 kg., ce qui représente un avantage considérable pour l'emploi sur le terrain par rapport aux tonnes d'équipement qui étaient autrefois requises pour une station d'observation.

D'octobre à décembre 1971, les institutions militaires qui font maintenant partie de la DMA ont participé à une mise à l'essai coopérative du Goeceiver. Comme nous l'avons vu plus haut, l'expérimentation du système TRANET de la marine avait démontré que ce type de données pouvait être utilisé pour la détermination d'une orbite, pour la navigation ou pour la détermination très précise d'une position géodésique. Spécialement

conçu à cette dernière fin, le Geociever a des dimensions réduites au point que ses éléments peuvent être transportés à la main et n'exigent aucun fourgon, camion ou autre habitacle spécial.

La mise à l'essai du Geociever avait essentiellement pour objet d'évaluer le principe des opérations sur le terrain et les méthodes de réduction des données, et d'établir les possibilités du Geociever en tant qu'instrument géodésique. A cet effet, des stations d'observation ont été installées aux Etats-Unis en des points dont les coordonnées géodésiques avaient été déterminées avec une grande précision. Le Cheminement au géodimètre de haute précision, observé et compensé par le National Ocean Survey, a été retenu comme base de référence à laquelle devaient être rattachées les coordonnées dérivées des observations au Geociever.

L'expérience s'est déroulée en deux phases, dont chacune a duré un mois environ. Au cours de la première phase, 15 stations de la moitié orientale des Etats-Unis ont été occupées, 7 pendant tout le mois et 8 pendant une semaine chacune (figure 2). Huit stations ont été occupées dans la moitié ouest des Etats-Unis pendant les quatre semaines de la seconde phase (figure 3). Cette expérience a fourni l'occasion d'utiliser largement le Geociever sur le terrain et a également permis de recueillir un grand nombre de données à partir desquelles on a pu calculer des positions de points, des translocations et de petits arcs. En tout, quelque 10 000 passages ont été observés de 20 stations différentes.

Méthodes de réduction des données et résultats

a) Méthodes de détermination de la position des points

Cette technique est caractérisée par le traitement de différentes positions du satellite, qui sont considérées comme sans erreur et sont tenues fixes durant la compensation. La trajectoire du satellite n'étant pas déterminée à partir des observations, des sources extérieures doivent fournir l'orbite du satellite pour la période d'acquisition des données. Les sources habituellement utilisées pour les satellites de navigation de la marine sont les positions précises déterminées par le Laboratoire des armes navales (NWL), les positions déterminées à partir de messages en provenance du satellite, qui sont une orbite prédite communiquée par le satellite lui-même. L'orbite étant considérée comme sans erreur, il n'y a pas de corrélation statistique entre la position des stations. De plus, la détermination de chaque position de point est effectuée indépendamment et il n'est pas nécessaire de coordonner l'occupation des réseaux de stations. Les stations dont la position est déterminée à l'aide de cette technique sont reliées au système de coordonnées des différentes positions du satellite; cependant, si plusieurs positions sont établies sur le système local au moyen du Geociever, une transformation dans ce système peut en être dérivée.

L'exactitude de la détermination d'une position dépend en grande partie de celle des différentes positions fixes et de la distribution des passages observés par une station. Bien que les positions soient traitées comme si elles étaient sans erreur, on ne suppose pas nécessairement que les orbites données n'en contiennent pas. On suppose au contraire que si la station repère un nombre suffisant de passages, dans toutes les directions et à tous les angles d'élévation, les effets des erreurs de l'orbite seront dans une large mesure annulés.

La détermination des positions effectuée pour les 15 stations au cours de la phase I de l'essai est indiquée au tableau 1. Comme on l'a vu plus haut, les stations avaient été placées sur le Cheminement au géodimètre de haute précision, de façon que le cheminement puisse servir de référence. La National Ocean Survey avait procédé à une compensation spéciale du cheminement pour les besoins de l'expérience, si bien que les coordonnées utilisées aux fins de comparaison étaient des coordonnées CCD (Cape Canaveral Datum) modifiées, plutôt que publiées. Ces coordonnées ont été transformées dans le système NWL, utilisant les déplacements d'origine, et comparées avec les coordonnées dérivées des données fournies par le Geociever. Ces comparaisons sont indiquées au tableau 2. Il est intéressant de noter que les différences les plus importantes se trouvent dans les éléments verticaux. Les altitudes associées aux coordonnées CCD se réfèrent en fait à la compensation de 1930 du Système altimétrique nord-américain. Les emplacements du Geociever avaient été rattachés à des repères sur ce système au moyen d'un cheminement d'ordre inférieur, ou dans bien des cas, de mesures d'angles à la verticale. Le cheminement précis moderne ne fournit que des coordonnées horizontales et ne sert donc de référence aux fins de comparaison que dans ces coordonnées. Le caractère systématique des différences entre les coordonnées du satellite et les coordonnées CCD semble indiquer que les comparaisons pourraient être plus satisfaisantes si l'on utilisait des valeurs meilleures pour les déplacements d'origine. Cependant, une solution pour des déplacements d'origine améliorés a fourni des valeurs qui n'étaient pas sensiblement différentes de celles qui avaient été utilisées. Le tableau 3 récapitule les degrés de précision que l'on peut obtenir en utilisant le mode de détermination de la position des points fondée sur les résultats des essais.

b) Méthode de la translocation

Une translocation consiste à déterminer la différence entre les positions de deux points, dans des circonstances particulières. Elle n'est utilisée que pour déterminer les positions relatives de deux points, jamais pour définir la position d'un seul point. Les circonstances particulières tiennent à ce que chaque passage utilisé dans les diverses positions des points doit être observé simultanément par les deux stations, et que chaque station doit observer le même nombre de points. Il n'est pas nécessaires que chacun de ceux-ci soit observé simultanément. Cette méthode suppose que les erreurs sur les différentes positions du satellite affecteront dans une certaine mesure les deux stations de manière analogue. Ces erreurs analogues s'annulent lorsque les coordonnées des deux stations sont différenciées, si bien que dans de nombreux cas la position relative de deux stations peut être déterminée avec plus de précision que la position de chacune.

Chaque passage devant être observé simultanément, les translocations peuvent être observées à partir de stations distantes de deux fois environ l'altitude des satellites employés. Cependant, les hypothèses qui mènent à la notion de translocation sont pas valables lorsque les deux stations sont rapprochées et que quelques passages seulement sont observés; c'est dans ces conditions que la méthode de la translocation présente les avantages les plus notables.

La phase I de l'essai a fourni un grand nombre de données à partir desquelles les translocations ont pu être calculées. Parmi ces données, une série secondaire des translocations possibles a été retenue en vue d'une étude de la précision qu'on peut obtenir et des limites de ces solutions. La réduction des translocations a suivi la détermination des positions des points. Ces déterminations ont constitué un moyen commode d'identifier les passages pour lesquels on disposait de données fournies simultanément par deux stations. Pour chaque translocation, les données ont été collationnées de façon à n'inclure que les passages simultanés et à comprendre un nombre égal d'observations de chaque station pour chaque passage. Cette série de données de translocation a été ensuite utilisée pour le calcul des positions de point à chaque station et la translocation ou les coordonnées relatives des stations ont été alors obtenues au moyen de la différence entre ces positions.

Les résultats de la translocation ont été comparés au cheminement précis et ces comparaisons sont indiquées aux tableaux 4a et 4b. Les positions relatives déterminées au moyen de la translocation et de la différence des positions de points sont comparées aux positions relatives du cheminement précis. Les éléments de la différence ou vecteurs-écart sont indiqués dans un système local de coordonnées des latitudes, des longitudes et des altitudes à la seconde station.

Les tableaux 5a et 5b récapitulent les comparaisons entre le cheminement précis et les cordes mesurant la distance relative entre stations, déterminées au moyen des deux techniques par satellite. Les résultats indiquent que les positions relatives des stations déterminées soit par la différence des positions utilisant tous les passages disponibles soit par le calcul des translocations, concordent remarquablement avec le cheminement précis. L'importance des vecteurs-écarts varie d'un mètre environ pour la ligne la plus courte à quatre mètres à peu près pour la plus longue. Entre 100 et 800 km. il apparaît que les translocations se rapprochent un peu plus du cheminement que les positions de points. Pour des lignes de plus de 800 km. les différences entre la détermination de la position des points et la translocation commencent à augmenter, et les translocations sont très sensiblement moins bonnes pour les lignes les plus longues.

Selon la théorie et les simulations, les translocations constituent un moyen efficace de réduire l'incertitude des positions relatives par rapport à celle qui est liée à l'utilisation des positions de points pour le même nombre de passages. Les résultats indiquent que la méthode de la translocation est valable et applicable en pratique. Toutefois, les avantages de la translocation dépendent de la distance et de l'orientation de la base. Pour des distances dépassant 1 000 km environ, tous ces avantages disparaissent. Les résultats révèlent également que pour les translocations, la perte de données est sensiblement plus importante que dans le cas des déterminations de positions de points. Les translocations sont en moyenne fondées sur 40 p. 100 seulement des données utilisées pour les déterminations de positions. Le tableau 6 indique l'exactitude que, d'après les essais opérationnels, on peut attendre de la translocation.

c) Méthode du petit arc

Selon cette méthode, les inconnues sur la description des orbites sont résolues en même temps que les coordonnées d'un réseau de stations d'observation. Chaque passage d'un satellite au-dessus du réseau d'observation est traité comme une orbite distincte, si bien que l'on peut utiliser un modèle d'orbite plus simple que dans le cas d'orbites à multiples révolutions (grand arc). Normalement un réseau de petits arcs consiste en six stations ou plus qui doivent toutes être opérationnelles durant la même période. Pour avoir une utilité chaque passage doit être observé par quatre stations au moins. Comme il n'y a pas de quantités fixes, le système de coordonnées n'est pas automatiquement défini pour un petit arc et il faut donc imposer des contraintes aux coordonnées de quelques-unes des stations ou toutes pour rendre cette définition possible.

Le principal avantage de la méthode du petit arc est qu'elle dispense de la nécessité d'obtenir les différentes positions d'un satellite auprès d'une source extérieure. C'est pour cette raison qu'on peut avoir recours à tous les satellites émetteurs et non pas seulement à ceux pour lesquels on possède l'éphéméride des différentes positions. Si l'on suppose que les coordonnées des différents points d'un petit arc déterminées au cours de la réduction des données sont plus précises que toutes autres susceptibles d'être obtenues d'autres sources, il peut être souhaitable de procéder à des déterminations de petits arcs même s'il existe des éphémérides des différentes positions déterminées de l'extérieur.

La réduction par petit arc contient beaucoup plus d'inconnues et nécessite beaucoup plus de calculs que les déterminations de positions de points, avec les mêmes données. Non seulement les calculs de l'orbite demandent plus de temps, mais le calcul de la correction de l'horloge locale et de la réfraction atmosphérique, qui dépendent de la position du satellite dans son orbite, est plus coûteux. De plus, pour la méthode du petit arc, l'orbite peut ne pas être suffisamment exacte et de nouveaux calculs sont nécessaires à chaque itération. Il faut aussi considérer, dans le cas du petit arc, que le système de coordonnées doit être défini au moyen d'informations indépendantes des données elles-mêmes. Dans le cas de la méthode de la détermination de la position des points, la solution se trouve automatiquement dans le système de coordonnées de l'éphéméride, mais le système de coordonnées est arbitraire dans la méthode du petit arc. Le système de coordonnées peut être défini de diverses manières, ce qui en produisant des résultats différents complique la comparaison des coordonnées déterminées au moyen de la compensation du réseau d'arcs avec des coordonnées définies d'autres façons.

Le tableau 7 montre la différence entre les coordonnées des points obtenues avec le minimum de contrainte désigné par le symbole SA-5 et les coordonnées CCD modifiées des stations. Cette solution n'utilisait que le nombre minimum de contraintes nécessaires pour définir le système de coordonnées. Les différences mises en évidence dans ce tableau sont beaucoup plus importantes que dans le cas où les données sont traitées au moyen de la méthode de détermination de la position des points. Cet écart est dû en partie à la difficulté que l'on éprouve à définir le système de coordonnées de la compensation en conformité avec le système MCCD et les effets de bordure importants du réseau

(Jonestown, Meades Ranch, Beltsville et Woodbine) qui sont apparents. Les passages vus par trois stations ou moins n'ayant pas été utilisés, il y a peu de passages à l'ouest de la limite occidentale du réseau ou à l'est de la limite orientale. La solution obtenue pour les stations situées au bord du réseau est apparemment médiocre 1/.

Le tableau 8 reprend les résultats de la solution SA-5A, dans laquelle les quatre stations extérieures ont été fixées au moyen des coordonnées tirées des points déterminés. Ces résultats sont représentatifs de ceux que l'on peut obtenir à l'aide du petit arc modifié. Le tableau indique que la méthode du petit arc modifié peut produire des coordonnées dont l'exactitude est proche de celle que l'on peut attendre de la détermination des points avec le même nombre de passages. En fonction des résultats indiqués aux tableaux 7 et 8, les réseaux devront être compensés suivant la méthode du petit arc modifié plutôt que celle du petit arc pur. L'un des inconvénients évidents de l'un ou l'autre mode est la quantité de matériel nécessaire pour des observations simultanées.

Si les modes de réduction des données ont été exposés, la difficulté relative liée au traitement des données observées n'a été que brièvement signalée. Le traitement des données du Geociever au Defense Mapping Agency Topographic Center (DMATC) comprend six opérations de base :

1. Prévisions pour les équipes de repérage,
2. Conversion des bandes de papier perforées du Geociever en cartes perforées,
3. Traitement préliminaire,
4. Détermination préliminaire simultanée des positions de points,
5. Détermination finale simultanée des positions de points,
6. Translocation ou détermination du petit arc, selon le cas.

Avant d'être affectée à une station donnée, une équipe de repérage est munie d'un dispositif pouvant percevoir les signaux du satellite pour toute la durée de l'opération. Lorsque les résultats du Geociever (bandes en papier perforées) parviennent du terrain, les bandes sont immédiatement converties en cartes perforées. Ces cartes sont alors utilisées comme données de départ pour un programme de traitement préalable à l'ordinateur qui produit des données d'observation Doppler sous la forme requise pour les programmes de détermination simultanée des positions de points et du petit arc. A la suite de ces opérations de base, les données (après modifications mineures) peuvent être aussi utilisées pour les déterminations de translocation et de petit arc.

1/ C.R. Schwartz et R.W. Smith, Geociever test: USATOPOCOM Phase II results and short arc investigations, rapport inédit, US Army Topographic Command, Washington D.C. 20315, mai 1972.

Le traitement préalable des données pour une seule station, qui consiste normalement en une soixantaine de passages observés, exige un minimum de huit heures de travail. Il faut en outre 15 minutes d'un grand ordinateur tel qu'un UNIVAC 1108. La détermination simultanée des positions de points avec 60 passages demande à peu près 3 minutes d'ordinateur, tandis qu'une translocation en exige cinq environ. Pour les programmes du DMATC, la méthode a été normalisée et les mêmes données pour un certain nombre de stations peuvent ainsi être calculées par la méthode du petit arc. Une détermination de petit arc typique utilisant 16 passages de 6 stations demande 6 minutes d'ordinateur.

Le système de traitement et de réduction des données mis au point au DMATC a été lancé il y a environ deux ans et demi et il est encore soumis à des modifications. Les programmes d'ordinateur pour les déterminations de position des points, de translocation ou de petit arc ont tous été validés par comparaisons mutuelles. De légères différences dans les méthodes utilisées par les programmes pour représenter l'orbite du satellite, pour calculer l'effet de la réfraction atmosphérique et pour procéder au filtrage des données provoquent manifestement des changements de plusieurs mètres dans les coordonnées finales des stations et ces effets sont soumis à un complément d'étude.

IV. UTILISATIONS POSSIBLES DE LA DETERMINATION DES POSITIONS PAR LA METHODE DOPPLER DANS LE CONTINENT AFRICAIN

D'après les résultats de la mise à l'essai du Geociever aux Etats-Unis, il est évident que c'est le mode de détermination de la position des points qui présente le plus d'avantages pour l'effort fourni. Cependant, dans certains cas, la méthode de la translocation est préférable. Le facteur décisif est naturellement le nombre de récepteurs Doppler mobiles dont on dispose au même moment. Le problème des effectifs ne pose guère de difficultés puisque deux personnes, ou trois de préférence, peuvent suffire pour une seule station. La formation de personnel à l'utilisation du matériel Doppler est un préalable indispensable au lancement d'un programme mais elle peut se faire durant la phase de planification du programme.

Etant donné l'état de la géodésie dans le continent africain, on peut définir comme suit les applications possibles de la détermination des positions de points au moyen du matériel mobile Doppler :

1. Repérer les positions de points sur le canevas altimétrique existant pour déterminer directement l'élévation du géoïde (en particulier dans les zones où il n'existe pas de réseau planimétrique).
2. Repérer les positions de points sur les réseaux existants afin de déduire les systèmes de transformation entre réseaux indépendants ou pour compenser et éventuellement améliorer les réseaux existants.
3. Repérer des positions de points dans des zones reculées où il n'existe aucun levé en vue de l'extension future des réseaux existants au moyen de méthodes classiques.
4. Repérer des positions de points pour des besoins cartographiques en zones reculées. Un programme utilisant un récepteur mobile Doppler pour les besoins de la cartographie est en cours dans les régions isolées du nord du Brésil.

5. Repérer des positions de points astronomiques existants utilisés antérieurement pour les besoins de la cartographie dans de vastes régions d'Afrique de l'Ouest. Si les points astronomiques sont récupérables, la combinaison de la position astronomique et de la position Doppler se traduira par des déviations de la verticale et fournira des informations utiles sur le géoïde, qui seront nécessaires pour la détermination d'un ellipsoïde de référence bien adapté à l'Afrique.

L'un des grands problèmes en matière de géodésie a toujours été la détermination de la forme réelle du géoïde (la surface de la terre au niveau de la mer). Avant l'apparition des satellites artificiels, il n'existait que deux grands moyens d'effectuer cette détermination : la mesure du vecteur gravimétrique et l'application de l'équation de Stokes pour obtenir l'ondulation du géoïde; ou la mesure de la direction du vecteur gravimétrique indiquée par la position astronomique d'un point, qui permettait de définir les profils de l'élévation du géoïde au-dessus d'un plan de référence local donné. On trouvera exposée dans les paragraphes suivants une méthode permettant de compléter la forme du géoïde sur les surfaces terrestres 1/.

Bien que les coordonnées planimétriques d'une position puissent présenter un intérêt essentiel, la coordonnée altimétrique est souvent déterminée avec la même exactitude que les coordonnées planimétriques. La coordonnée altimétrique tirée d'observations Doppler consiste dans l'élévation des points au-dessus d'un ellipsoïde adopté. Si l'élévation orthométrique du point est connue au moyen du niveau à bulle, on peut obtenir l'élévation du géoïde au-dessus de l'ellipsoïde adopté par simple soustraction. La principale raison pour laquelle l'utilisation des observations par satellites pour la détermination directe des élévations du géoïde n'a pas été considérée sérieusement dans le passé est simplement qu'il n'y avait pas assez de stations de repérage des satellites dont les coordonnées étaient déterminées avec une exactitude suffisante. Cette possibilité devient désormais réalisable avec l'apparition de petits récepteurs Doppler de très haute précision qui peuvent être transportés à la main.

Il ressort d'essais réalisés aux Etats-Unis que la coordonnée altimétrique peut être mesurée avec autant d'exactitude que les coordonnées planimétriques, à $\pm 1,5$ mètre près environ. Si l'on utilise l'élévation géodésique, déterminée par la réduction des données Doppler, et si l'on soustrait l'élévation orthométrique obtenue par nivellement, on déduit l'ondulation du géoïde. En comptant encore $\pm 1,5$ m. pour les erreurs sur l'élévation orthométrique, l'exactitude de l'ondulation du géoïde déterminée au moyen des observations Doppler est de l'ordre de ± 2 mètres. Cette valeur a été effectivement vérifiée par comparaison avec des profils astrogéodésiques aux Etats-Unis 1/.

1/ C.R. Schwarz, Direct determination of geoid undulations with the Geociever, document présenté à l'International Symposium on Earth Gravity Models, St. Louis Missouri, août 1972.

Dans les vastes régions d'Afrique de l'Ouest où il existe un système de repérage des altitudes par rapport au niveau de la mer mais où il n'y a pas de géoïde astrogéodésique, la méthode Doppler peut être utilisée pour fournir une image du géoïde. L'exactitude des distances mesurées à l'aide d'un matériel électronique est de l'ordre de 1:1 000 000. Pour maintenir cette exactitude dans la réduction de la ligne à l'ellipsoïde, il faudrait connaître l'élévation du géoïde à 6 cm. près. Dans la plupart des régions, on pourrait établir une carte du géoïde avec une précision de 6 m à partir d'un quadrillage de points espacés de 300 km environ. Si elle n'est pas aussi détaillée qu'une carte du géoïde établie par des moyens astrogéodésiques, cette carte contiendra beaucoup plus de détails qu'on en trouve dans les géoïdes actuels établis à l'aide de satellites fondés sur des extensions sphériques harmoniques du champ de gravitation. La réduction des données fournissant également des positions planimétriques pour le même quadrillage de points, un réseau planimétrique de premier ordre apparaîtrait accessoirement.

On pourrait encore utiliser le récepteur Doppler en Afrique pour repérer des positions sur des systèmes indépendants en vue de parvenir à un système commun unifié. Citons en effet à titre d'exemple les lacunes suivantes :

1. Solution de continuité entre l'arc du 12ème parallèle à Dakar et le réseau du Sahara espagnol.
2. Solution de continuité entre les réseaux du Sahara espagnol et du Maroc.
3. Réseau indépendant du Ghana non raccordé à l'ouest, au nord ou à l'est.
4. Solution de continuité entre le réseau du Nigéria et celui des abords de Kinshasa au sud.
5. Solution de continuité entre le 12ème parallèle et le réseau de l'Algérie au nord.

Ces lacunes apparaissent clairement sur la figure 1.

On pourrait aborder la solution de ce problème en établissant plusieurs stations Doppler sur chaque réseau pour déduire les changements de l'origine et, en outre, en repérant des positions Doppler dans des régions où il n'existe pas de réseaux, en vue d'extensions futures. En utilisant une position Doppler comme donnée initiale, on obtient un système de référence commun utilisable pour tout nouveau levé. Le système dérivé serait le système des stations de satellite du réseau mondial puisque ces stations auraient été occupées par des équipements Doppler.

Les perspectives et les applications du récepteur Doppler mobile sont nombreuses. Cependant, son principal avantage réside en ce qu'il offre le moyen de parvenir à un but auquel on aspire depuis longtemps, à savoir un système géodésique commun unifié pour l'Afrique.

V. CONCLUSION

Un effort considérable sera nécessaire pour la détermination d'un système géodésique unique pour le continent africain. Cet effort devra avoir un caractère coopératif. Une fois un système unifié obtenu et des informations sur le géoïde suffisantes recueillies, un ellipsoïde bien adapté pourra être dérivé. Bien évidemment, plus on possédera d'informations, meilleurs seront les résultats. L'ellipsoïde ne serait probablement pas l'ellipsoïde de Clarke 1880 mais un autre. Bien que l'arc du 30ème méridien ait été recommandé antérieurement comme plan de référence pour l'Afrique, nous avons vu qu'il n'est pas totalement adapté pour l'ensemble du continent 1/. On pourrait peut-être choisir un point unique vers le centre du continent, au Nigéria par exemple, ou la station du réseau mondial de Fort-Lamy ou encore les quatre stations du réseau mondial installées sur le continent pourraient servir de plan de référence pour l'Afrique. Les possibilités sont certes nombreuses. Une solution analogue à celle qui a été appliquée en Amérique du Sud pourrait être recherchée 2/. Ce sont les pays d'Afrique qui devront prendre ces décisions. Mais il faut retenir que le récepteur mobile Doppler pourrait être un instrument de première importance pour la collecte des données à partir desquelles ces décisions pourront être prises. Il garantira l'exactitude requise, pour un coût minimum.

Un programme est actuellement en cours pour le repérage de positions au Kenya au moyen de la méthode Doppler. L'équipement Doppler est utilisé par une équipe britannique et en quelques mois, une douzaine de positions au moins auront été établies. Il serait bon que les pays africains envisagent l'emploi des récepteurs Doppler en vue de la mise en place d'un système géodésique unifié.

-
- 1/ I. Fischer, Constructing a geodetic datum that fits a continent, Fourth South African National Survey Conference, Durban (Afrique du Sud), juillet 1970.
 - 2/ I. Fischer, "The geoid in South America referred to various reference systems", Revista Cartografica, No. 18, 1969.

TABLEAU 1

PHASE I. DETERMINATION DE LA POSITION DE POINTS

SATELLITES 59 et 60

SYSTEME DE COORDONNEES NWL 9-C

STATIONS	NOMS	LATITUDE	LONGITUDE	ELEVATION	σ_d	σ_A	σ_h	NOMBRE DE PASSAGES
10003	GREENVILLE	33° 28' 42",803	268° 59' 50",349	6,82m	0,10m	0,16m	0,10m	169
10006	MEADES RANCH	39 13 26,646	261 27 27,512	565,73	0,19	0,30	0,18	63
10018	BALDY	30 26 48,898	262 01 15,690	292,72	0,11	0,18	0,11	135
10019	FRANKTON	40 14 7,030	274 10 26,545	222,40	0,11	0,17	0,10	172
10020	MARYSVILLE	38 35 20,951	274 21 7,152	176,15	0,16	0,24	0,15	56
10021	CASH	37 33 6,950	273 55 0,761	228,74	0,19	0,29	0,17	40
10022	KNOB	34 47 15,800	271 45 29,412	211,78	0,26	0,41	0,22	36
10023	WEBSTER	33 33 55,013	270 50 3,498	102,33	0,20	0,30	0,18	45
20001	BELTSVILLE	39 01 39,814	283 10 27,104	4,36	0,12*	0,20*	0,12*	196
20015	WOODBINE	30 56 55,695	278 19 7,737	25,01	0,25*	0,42*	0,24*	176
20016	COLUMBIA	31 12 45,099	270 16 27,059	77,34	0,12	0,18	0,11	174
30025	ATCHISON	40 05 11,784	278 15 39,474	322,46	0,16	0,24	0,15	91
30026	COLUMBUS	40 00 27,799	276 57 29,862	203,94	0,17	0,26	0,16	62
30027	UNION EAST BASE	40 09 51,465	275 23 26,296	277,30	0,22	0,36	0,21	37
30028	GINGRICH	40 49 20,412	270 42 39,572	212,88	0,18	0,32	0,19	50

* A Woodbine le résidu est sensiblement plus élevé qu'à d'autres stations, probablement à cause d'arbres qui limitent l'horizon de la station.

TABLEAU 2
DETERMINATION DE LA POSITION DE POINTS
PHASE I, SATELLITES 59 ET 60
SOLUTION DU SATELLITE MOINS DEPLACEMENTS
D'ORIGINE NWL DU LEVE CCD

STATIONS	$\Delta \phi$ (M)	$\Delta \lambda$ (M)	ΔH (M)
10003	0,24	1,42	-2,11
10006	1,77	0,09	-2,29
10018	1,48	-1,49	-2,43
10019	0,27	0,26	-0,75
10020	0,81	0,94	-0,60
10021	0,22	0,78	-0,61
10022	0,14	1,44	-2,58
10023	0,08	0,20	-1,62
20001	1,40	0,53	-0,23
20015	-1,34	1,48	1,05
20016	-0,59	0,47	0,01
30025	1,31	-0,32	-1,29
30026	0,64	0,81	0,02
30027	0,94	0,45	0,16
30028	1,19	0,14	-0,96

TABLEAU 3
DETERMINATION DE LA POSITION DE POINTS

Précision : 1,5 m dans chaque coordonnée.
Cohérence : 1,0 à 1,5 m dans chaque coordonnée.
Limites : Ephéméride précise NWL.
35 passages ou plus.
Série de données équilibrées.
Suppression de l'angle d'élévation de 10°.
Suppression répétitive de l'ouverture résiduelle 30°.
Lecture du temps local au Geociever.
Source : Essai du Geociever DOD - Comparaison avec les coordonnées CCD.

TABLEAU 4a

COMPARAISON DES POSITIONS RELATIVES DETERMINEES
AU MOYEN DU GEOCEIVER ET DU CHEMINEMENT PRECIS

DE	A	DIST. (km)	POSITION DES STATIONS DE CHEMINEMENT				TRANSLOCATION-CHEMINEMENT			
			$\Delta \phi$ (m)	$\Delta \lambda$ (m)	Δh (m)		$\Delta \phi$ (m)	$\Delta \lambda$ (m)	Δh (m)	
GREENVILLE, OHIO.	FRANKTON, IND.	104	-0,19	-0,68	-0,91		-0,64	0,02	-0,29	
COLUMBIA, MISS.	MATHISON, MISS.	266	0,70	-0,27	-1,60		0,25	0,45	-1,81	
COLUMBIA, MISS.	GREENVILLE, MISS.	278	0,85	0,97	-2,08		1,11	1,08	-1,64	
FRANKTON, IND.	METAMORA, ILL.	301	-0,08	0,91	-0,20		-0,04	0,07	-0,46	
COLUMBIA, MISS.	IUKA, MISS.	420	0,76	1,01	-2,56		1,02	0,84	-2,01	
FRANKTON, IND.	IUKA, MISS.	641	-0,08	1,25	-1,80		0,86	0,16	-2,14	
WOODBINE, GA.	COLUMBIA, MISS.	768	0,66	-1,24	-0,85		0,67	-0,81	-0,99	
COLUMBIA, MISS.	SUMMIT, KY.	779	0,85	0,34	-0,57		0,81	0,13	-0,50	
FRANKTON, IND.	BELTSVILLE, MD.	783	1,20	0,16	0,49		0,41	1,03	-0,10	
COLUMBIA, MISS.	JONESTOWN, TEX.	793	2,10	-2,07	-2,39		2,01	-2,02	-1,94	

TABLEAU 4b

COMPARAISON DES POSITIONS RELATIVES DETERMINEES
AU MOYEN DE GEOCEIVER ET DU CHEMINEMENT PRECIS

DE	A	DIST. (km)	POSITION DES STATIONS DE CHEMINEMENT			TRANSLLOCATION-CHEMINEMENT		
			Δx (m)	Δy (m)	Δh (m)	Δx (m)	Δy (m)	Δh (m)
GREENVILLE, MISS.	FRANKTON, IND.	879	-0,11	-1,35	1,21	-0,83	0,32	1,21
COLUMBIA, MISS.	MARYSVILLE, IND.	899	1,47	0,51	-0,55	-0,21	1,52	-0,04
GREENVILLE, MISS.	MEADES RANCH, KAN.	929	1,26	-1,11	-0,08	-2,16	1,56	0,59
BELTSVILLE, HD.	WOODBINE, GA.	998	-2,79	-1,06	1,51	1,86	-2,77	1,59
COLUMBIA, MISS.	FRANKTON, ILL.	1 060	0,91	-0,11	-0,68	-0,04	1,35	-0,18
METAMORA, ILL.	BELTSVILLE, MD.	1 082	0,29	0,08	0,72	0,58	0,36	0,13
MEADES RANCH, KAN.	FRANKTON, ILL.	1 093	-1,52	-0,46	1,44	2,67	-0,48	1,00
WOODBINE, GA.	FRANKTON, IND.	1 095	1,75	-1,36	-1,48	-1,99	2,62	-0,75
JONESTOWN, TEX.	FRANKTON, IND.	1 523	-1,80	1,18	1,59	3,13	-1,50	2,20
MEADES RANCH, KAN.	BELTSVILLE, MD.	1 867	-0,23	-0,62	1,89	4,25	-1,04	1,30

TABLEAU 5a
COMPARAISON DES DISTANCES ENTRE STATIONS DETERMINEES
AU MOYEN DU GEODESIQUE ET DU CHEMINEMENT PRECIS

DE	A	DIST. (km)	DISTANCE DERIVEE DU SATELLITE		CHEMINEMENT (M)	
			POSITION DU POINT	PASSAGES	TRANSLATION	PASSAGES
GREENVILLE, OHIO.	FRANKTON, IND.	104	0,13	37 172	-0,07	16
COLUMBIA, MISS.	MATHISON, MISS.	266	0,56	174 45	0,22	26
COLUMBIA, MISS.	GREENVILLE, MISS.	278	0,28	174 169	0,49	122
FRANKTON, IND.	METAMORA, ILL.	301	0,25	172 50	-0,09	28
COLUMBIA, MISS.	IUKA, MISS.	420	0,95	174 36	1,18	23
FRANKTON, IND.	IUKA, MISS.	641	-0,42	172 36	-0,98	24
WOODBINE, GA.	COLUMBIA, MISS.	768	0,48	176 174	0,75	96
COLUMBIA, MISS.	SUMMIT, KY.	779	0,87	174 40	0,76	26
FRANKTON, IND.	BELTSVILLE, MD.	783	-0,08	172 196	0,91	87
COLUMBIA, MISS.	JONESTOWN, TEX.	793	1,60	174 135	1,59	73

TABLEAU 5b

COMPARAISON DES DISTANCES ENTRE STATIONS DETERMINEES
AU MOYEN DU GEOCEIVER ET DU CHEMINEMENT PRECIS

DE	A	DIST. (km)	DISTANCE DERIVEE DU SATELLITE - CHEMINEMENT (M)			
			POSITION DU POINT	PASSAGES	PASSAGES	
GREENVILLE, MISS.	FRANKTON, IND.	879	-0,75	169 172	-0,10	118
COLUMBIA, MISS.	MARYSVILLE, IND.	899	1,48	174 56	1,27	36
GREENVILLE, MISS.	MEADES RANCH, KAN.	929	1,64	169 63	2,69	39
BELTSVILLE, MD.	WOODBINE, GA.	998	2,20	196 176	1,87	122
COLUMBIA, MISS.	FRANKTON, IND.	1 060	0,73	174 172	1,24	93
METAMORA, ILL.	BELTSVILLE, MD.	1 082	0,06	50 196	0,48	28
MEADES RANCH, KAN.	FRANKTON, IND.	1 093	-0,37	63 172	2,73	30
WOODBINE, GA.	FRANKTON, IND.	1 095	1,99	176 172	3,09	101
JONESTOWN, TEX.	FRANKTON, IND.	1 523	-0,09	135 172	1,65	78
MEADES RANCH, KAN.	BELTSVILLE, MD.	1 867	-0,30	63 196	4,49	24

TABLEAU 6
TRANSLOCATION

Précision :	0,5 m plus 2:1 000 000 de la distance dans chaque différence de coordonnée.
Cohérence :	0,5 m plus 1,5:1 000 000 de la distance dans chaque différence de coordonnée.
Limites :	Ephéméride précise. 20 passages ou plus. Série de données équilibrées. Suppression de l'angle d'élévation de 10^0 . Suppression répétitive de l'ouverture résiduelle 30. Lecture du temps local du Geociever.
Source :	Essai du Geociever DOD - Comparaison avec les différences de coordonnées CCD.

TABLEAU 7

PHASE I DES DETERMINATIONS DE PETITS ARCS
SOLUTION SA-5 MOINS MCCD
(313 et 314ème jours)

STATIONS	NOMS	$\Delta \phi$ (m)	$\Delta \lambda$ (m)	Δh (m)	PASSAGES
10003	Greenville	0,00	0,00	0,00	12
10006	Meades Ranch	4,14	3,74	0,62	12
10018	Jonestown	4,52	1,45	-6,01	10
10019	Frankton	-1,01	-5,88	3,59	11
10020	Marysville	-2,21	-5,21	2,48	15
20001	Beltsville	-2,23	-14,98	-7,87	11
20015	Woodbine	-5,64	-7,68	-4,18	10
20016	Columbia	-1,05	0,38	0,68	11
30028	Gingrich	0,16	-2,39	3,31	13

TABLEAU 8

PHASE I DES DETERMINATIONS DE PETITS ARCS

SOLUTION SA-5A MOINS MCCD

(313 et 314^{ème} jours)

METHODE DU PETIT ARC MODIFIE

STATIONS	NOMS	$\Delta \phi$ (m)	$\Delta \lambda$ (m)	Δh (m)	PASSAGES
10003	Greenville	0,98	1,81	-1,54	12
10006	Meades Ranch	1,97	-0,23	-2,41	12
10018	Jonestown	2,18	-0,10	-2,23	10
10019	Frankton	1,60	-0,20	0,34	11
10020	Marysville	0,42	0,51	0,08	15
20001	Beltsville	1,24	0,21	0,44	11
20015	Woodbine	-1,74	1,64	0,74	10
20016	Columbia	0,53	3,43	0,39	11
30028	Gingrich	2,11	0,20	0,093	13

DOD GEOCEIVER TEST PHASE I NETWORK

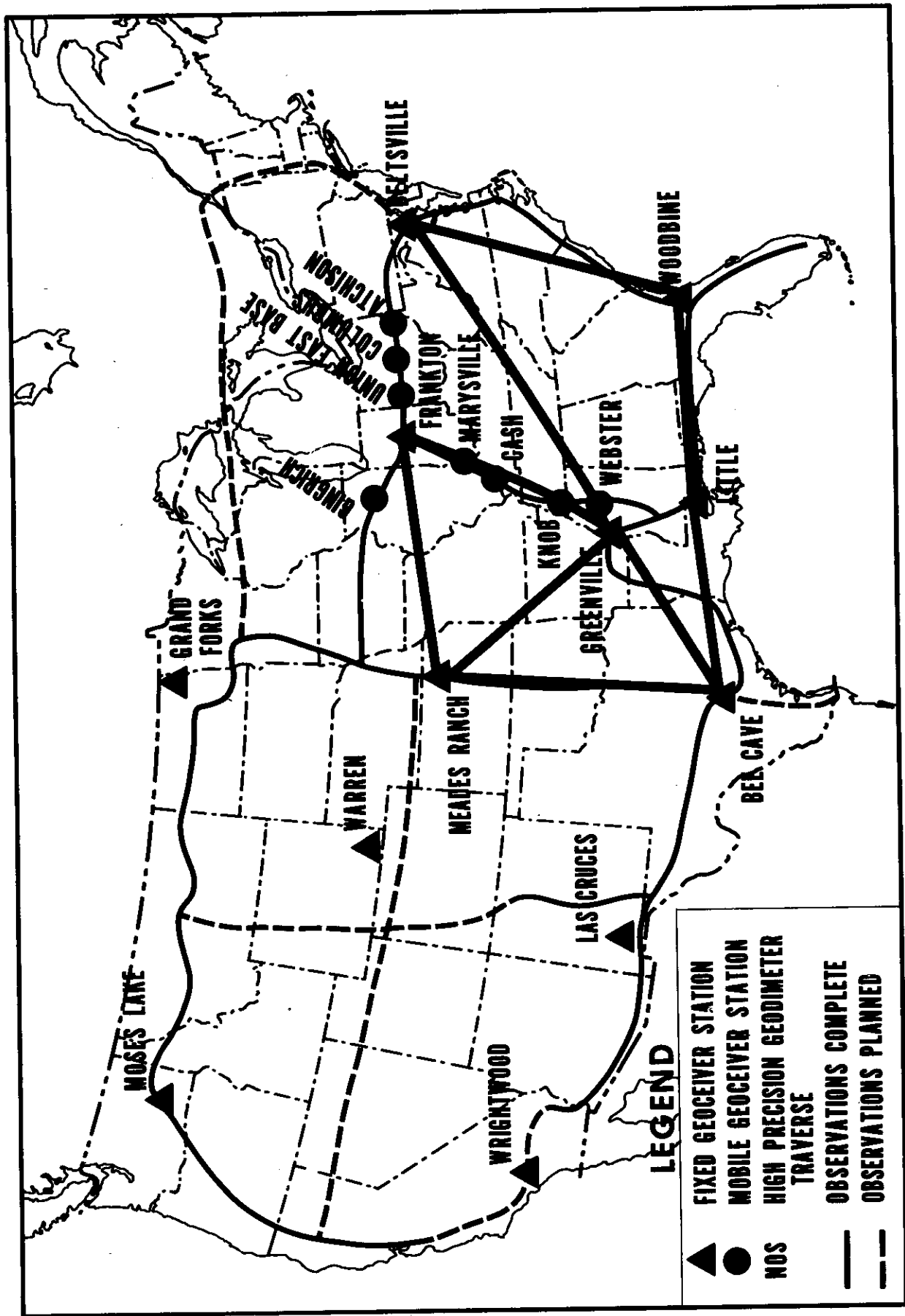


FIGURE 2

00

0

DOD GEOCEIVER TEST PHASE II NETWORK

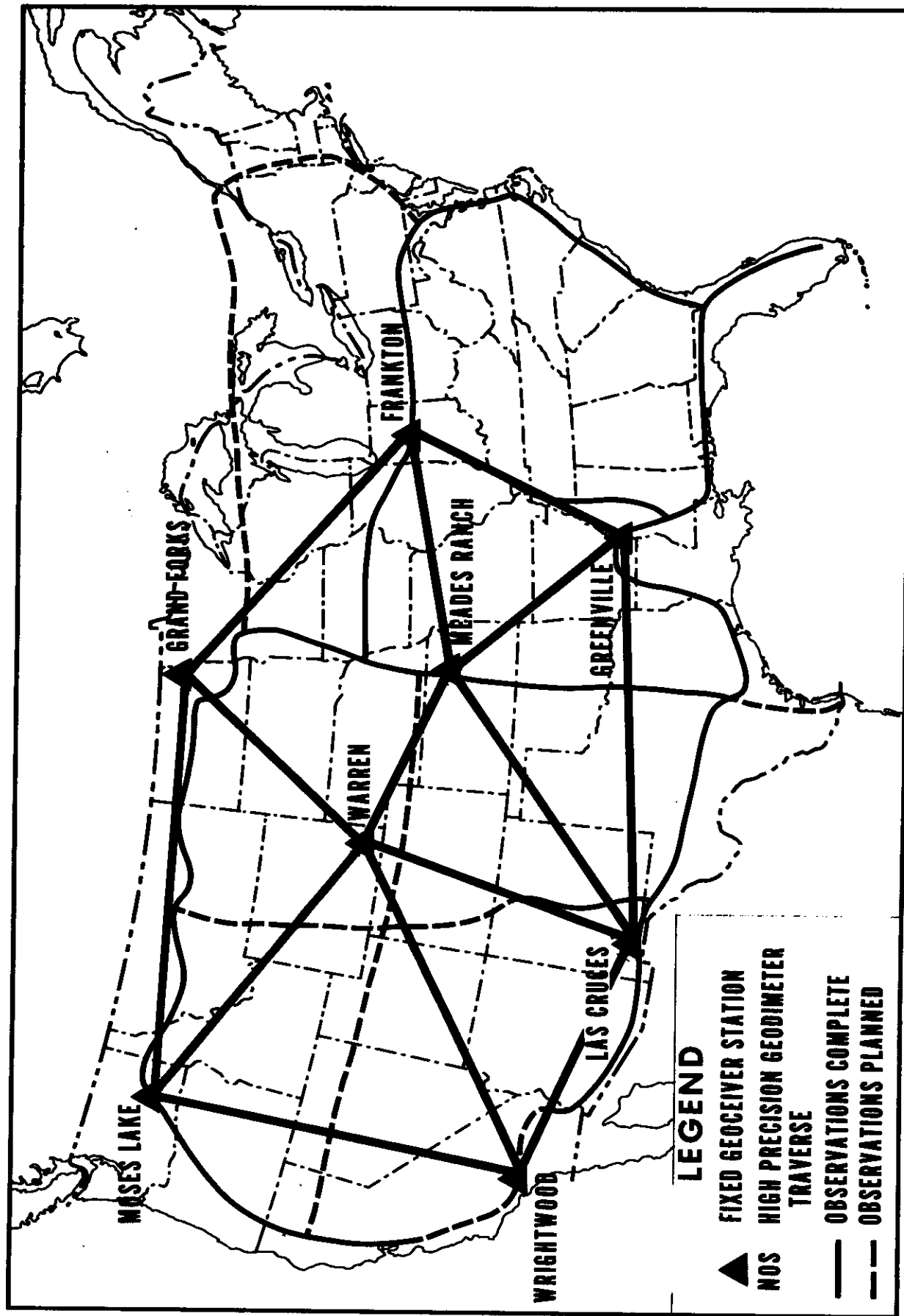
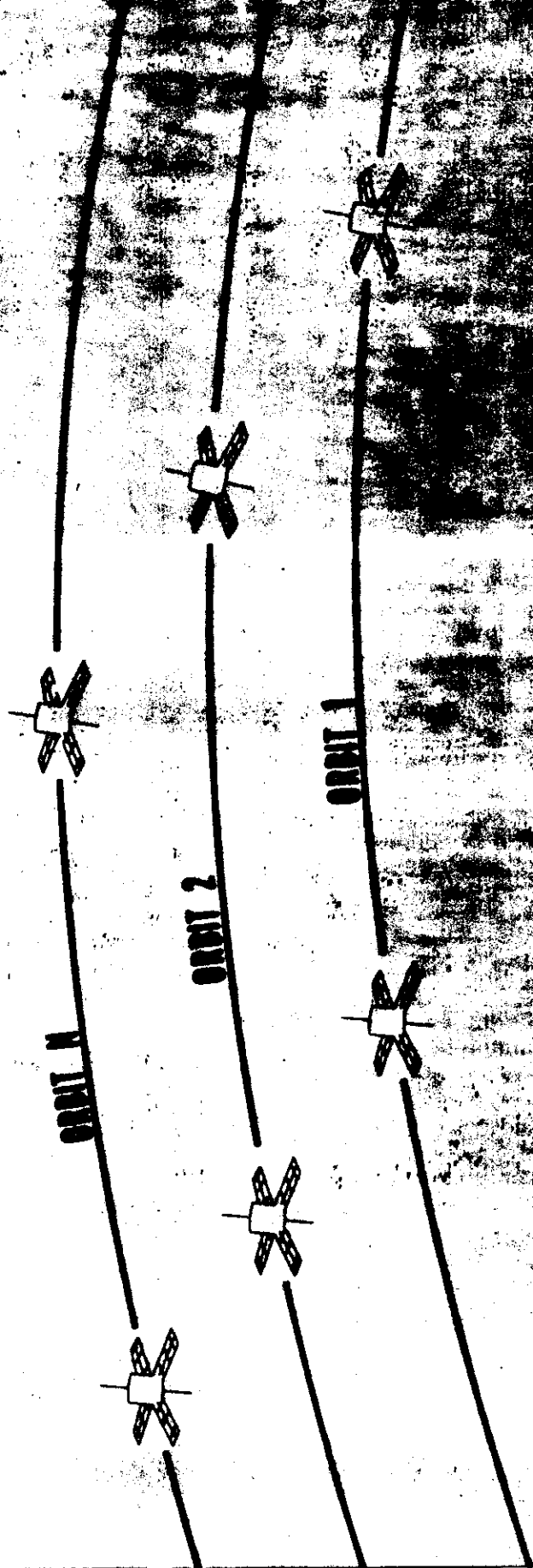


FIGURE 3

SINGLE POINT POSITIONING



00

00

TRANSLOC

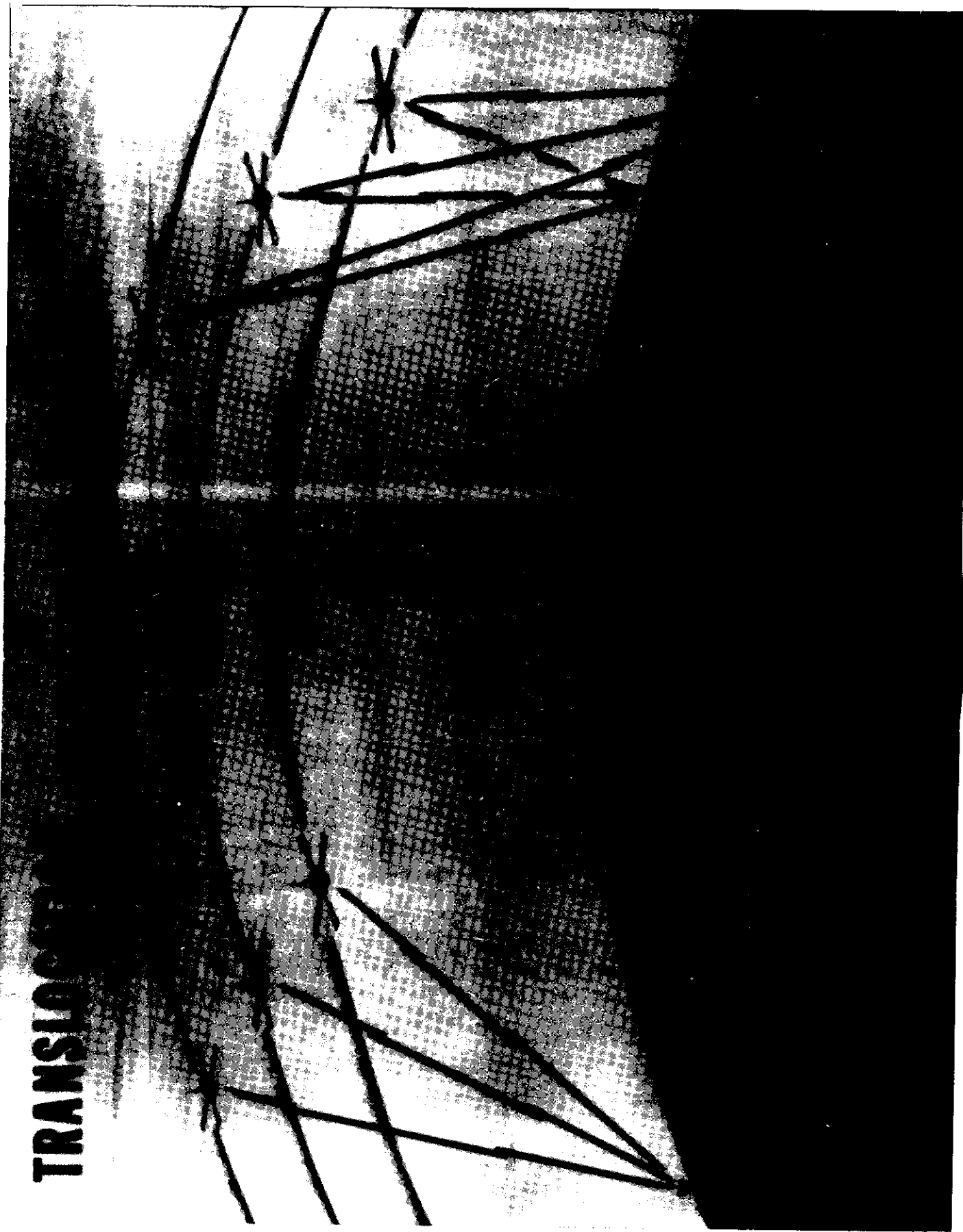


FIGURE 5

POSSIBLE GEOMETRICS FOR DOPPLER POSITIONING BY THE SHORT ARC METHOD



FIGURE 6