

NATIONS UNIES
CONSEIL
ECONOMIQUE
ET SOCIAL



Distr.
LIMITEE

E/CN.14/CART/157
19 juillet 1966

Original : FRANCAIS

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

JONCTION GEODESIQUE FRANCE - AFRIQUE DU NORD
PAR VISEES SYNCHRONES SUR LE SATELLITE ARTIFICIEL ECHO I

Communication présentée par le Gouvernement français

SECRET
REF ID: A66044

FOR THE DIRECTOR
OF THE FBI

MEMORANDUM :

RE: [Illegible text]

[Illegible text]

JONCTION GEODESIQUE FRANCE - AFRIQUE DU NORD
PAR VISEES SYNCHRONES SUR LE SATELLITE ARTIFICIEL ECHO I^{1/}

I. PRINCIPES GENERAUX DE LA TRIANGULATION SUR SATELLITE

Le principe de base est fort simple : un objet lumineux n'est pas vu sur le même fond d'étoiles selon l'endroit de la Terre où se trouve l'observateur. On conçoit que la photographie de cet objet lumineux, avec les étoiles qui l'encadrent, donne un renseignement qui permette de trouver la position de points à la surface de la Terre, d'autres points étant supposés connus.

Précisons cette notion : le solide Terre, supposé indéformable auquel nous attacherons un trièdre TXYZ, a en direction un mouvement connu en fonction du temps au milieu des étoiles, mouvement donné par l'Astronomie de position; connaître le temps, c'est immobiliser le trièdre dans le champ stellaire; chaque étoile constitue alors une direction absolue, dans le trièdre TXYZ, direction donnée par les éphémérides d'étoiles.

De la même façon, il nous faut "immobiliser" l'objet lumineux, ce qui nécessite pratiquement de faire des observations synchrones (ou quasi synchrones) à partir des différents points du globe que l'on désire relier.

L'objet lumineux peut émettre des éclairs : la simultanéité est ainsi assurée automatiquement. Il peut être continûment lumineux : il faut alors créer des "éclairs artificiels" en utilisant aux diverses stations d'observations des obturateurs tournants, dont la rotation soit synchrone.

"Anna" est un satellite à éclairs : il a servi à des opérations géodésiques. Il est plus coûteux qu'un satellite continûment lumineux, il ne travaille que sur commande - il a subi des pannes.

^{1/} Par l'Institut géographique national.

Echo I et Echo II sont des satellites continûment lumineux (c'est Echo I qui a été choisi pour la liaison France - Afrique du Nord).

Pratiquement, une photographie comporte :

- Un certain nombre de photos d'étoiles qui permettront de calculer l'orientation de la chambre.
- Un certain nombre d'éclairs : dans le cas des observations françaises, en une minute, l'obturateur, tournant à la cadence de 1t/sec., donne 60 pointillés lumineux que nous appellerons flashes.

Le problème est essentiellement d'interpoler des flashes parmi les positions connues des étoiles; disons tout de suite que les 60 flashes sont ramenés à 1 flash central, et que l'on obtient donc pour ce flash central sa direction dans le trièdre TXYZ.

Chaque photo donne donc une direction connue SF, S étant la station et F le point fixé. Nous verrons, à propos de la jonction France - Afrique du Nord, comment le problème géodésique se discute à partir de cette donnée fondamentale.

Quelques résultats essentiels pour la précision :

Si l'on désire sur SF une précision angulaire de 1" (soit $1/200.000$ radian), il nous faut :

- 10^{-3} sec. sur la précision de l'obturateur tournant
- $\frac{1}{20}$ sec. sur le temps sidéral.
- 2 à 3 sur la détermination des positions des étoiles et des flashes sur la plaque photographique (pour une focale de 30 cm).

II. LES INSTRUMENTS

L'appareillage comporte essentiellement :

- Une chambre photographique de 30 cm de focale, munie d'un obturateur tournant, et d'un obturateur à palette.

- Un chronomètre à quartz, pilotant l'obturateur tournant à la cadence de 1t/sec. pour la photographie du satellite, et déclenchant l'obturateur à palette, pour la photographie des étoiles.

L'ensemble du dispositif est extrêmement simple, très transportable.

Les prises d'heures s'effectuent :

- Pour le satellite, par lecture directe sur la graduation de l'obturateur tournant : chaque top de seconde de signal horaire illumine le cadran de l'obturateur, toujours au même point, ce qui permet à l'observateur d'effectuer une lecture correcte (à 10^{-3} seconde près).
- Pour les étoiles - selon le même principe - sur un disque gradué tournant incorporé au chronomètre à quartz.

III. LA LIAISON GEODESIQUE FRANCE - AFRIQUE DU NORD (Mai 1964)

L'Institut géographique national, en accord avec les autorités algériennes, a réalisé la liaison géodésique France - Afrique du Nord par observations photographiques synchrones du satellite Echo I.

Points connus :

- Lacanau (près de Bordeaux sur l'Atlantique)
- Agde (près de Sète sur la Méditerranée)
- Oletta (Corse)

Points à déterminer :

- Hammaguir (Sahara Ouest)
- Ouargla (Sahara Est)

En fait, les 5 points sont connus dans le système de la Compensation européenne (dite Compensation Europe 1950) et le travail consiste donc à comparer la transmission géodésique classique à la transmission par géodésie spatiale.

Satellites utilisés

Les seules observations retenues sont celles effectuées sur Echo I qui, du fait de sa culmination à $47^{\circ} 5$ environ, convient très bien à des observations au-dessus de la Méditerranée.

Les observations se sont échelonnées du 4 au 26 mai. Il a été parfois possible de prendre 4 passages utiles par soirée.

Echo II a été observé également à partir du 20 mai, mais aucune soirée n'a été retenue. Echo II ne peut tout au plus avoir qu'un passage utile.

Configuration géodésique

Dans le calcul final, toutes les observations de directions absolues donneront lieu à des relations d'observation, qui permettront de définir les points inconnus (avec leur tableau d'erreurs); mais pour les observations elles-mêmes, il est nécessaire de définir une ligne générale de travail qui assure a priori une configuration d'ensemble satisfaisante.

On peut faire les raisonnements suivants :

1er point de vue

Le méridien central de la zone d'observations a pour longitude 2° Est environ, le parallèle central est à 38° de latitude. Les points les plus importants pour la liaison sont les points de la trajectoire du satellite sur le parallèle moyen, respectivement à l'Ouest et à l'Est du méridien central (point Est à la verticale du Sud de l'Italie, point Ouest à la verticale de l'Espagne). Ces points sont déterminés par intersection depuis les 3 bases françaises. Eux-mêmes, par intersection, déterminent les points africains : en considérant le schéma, on se rend compte que cette dernière intersection est bonne, la première n'étant pas excellente : les points français constituent une base un peu étroite.

2ème point de vue

L'ensemble des directions définies stellairement déterminent un certain nombre de plans : ces plans, associés, permettent de définir des droites joignant les points au sol.

Par examen du schéma, on se rend compte qu'ainsi sont bien définies toutes les droites du schéma, sauf la droite Ouargla-Hammaguir, car il était difficile d'avoir des points africains non situés dans le cône d'ombre. Ici encore, on se rend compte que les points africains définis le sont par intersection à partir d'une base française un peu trop étroite.

Prévision des passages

Pour chaque passage de satellite, le point de la trajectoire du satellite à viser est pratiquement imposé; le coordinateur des travaux choisit ce point en fonction de divers éléments :

- Tout d'abord, nécessité d'une figure géométrique générale bien conformée comme nous l'avons dit.
- Heures d'observation acceptables pour la photographie des étoiles : de ce point de vue, les stations aux latitudes élevées, en été, sont très défavorisées.
- Il faut aussi que le satellite sorte du cône d'ombre suffisamment tôt pour que les observateurs ne soient pas surpris (en effet, l'heure d'arrivée du satellite ne peut pas être prévue à mieux que 5 minutes près).

On pourrait théoriquement aussi tenir compte de la réussite des soirées déjà observées, mais pratiquement, cela n'est guère possible; en fait, le coordinateur général établit un plan et le suit de façon à peu près immuable.

Pour les prévisions, on utilise les éphémérides d'Echo I, fournis par le Smithsonian Astrophysical Observatory of Massachusetts.

Dès réception d'un éphéméride, on numérote les passages, on extrapole l'éphéméride pour 15 jours environ, on choisit les points de passage, c'est-à-dire les points du ciel où toutes les chambres balistiques devront être dirigées; un programme électronique donne alors un état indiquant pour chaque station tous les éléments d'observation.

En pratique, entre les éléments de l'éphéméride extrapolé et les valeurs de l'éphéméride suivant, on constate couramment des écarts de l'ordre de 10 minutes en temps et 2 à 3° en longitude, ces écarts, quoique désagréables, restent acceptables à l'observation. Ils tiennent au fait qu'Echo I étant très léger, est extrêmement sensible à la pression de radiation.

Travaux de terrain

Le travail de prises de vues ne nécessite que 2 opérateurs, mais pratiquement il est bon de prévoir une équipe de 3 : en effet, pendant la période utile, on fait des photographies toutes les 2 heures au cours de la nuit, toutes les nuits; il est bon dans ces conditions de prévoir pour chaque opérateur une nuit de repos toutes les 3 nuits.

Le travail de prises de vues comporte les phases suivantes :

(Mise en station de la chambre, 2 heures avant l'observation)

(Mise en route du chronomètre)

Mise en place d'une plaque de la chambre

Mise à l'heure du chronomètre, par les signaux horaires

Photographie des étoiles (1er pointé)

Mise en route du disque obturateur, réglage sur les signaux horaires

Photographie du satellite, à la cadence de 1 pointé par seconde, sauf

top 60 de chaque minute, qui est éliminé par un disque manié par un opérateur

Arrêt du disque : photographie des étoiles (2ème pointé)

Photographie des repères du fond de chambre

Remplacement de la plaque

Mise en place de la chambre pour l'observation suivante.

Les travaux comportent en outre :

- le développement de la plaque
- 1 tirage papier, renseigné : sens de passage du satellite, numérotation des minutes ... sens du mouvement diurne.

Les éléments importants des travaux de terrain sont essentiellement :

- la stabilité de l'appareil dans l'intervalle de temps qui sépare les 2 pointés sur les étoiles; cet intervalle est actuellement de 15 minutes, et sera réduit à moins de 10 minutes.
- la prise d'heures sur l'obturateur tournant, qui doit être effectuée à 10^{-3} secondes.

Réussite des soirées d'observations

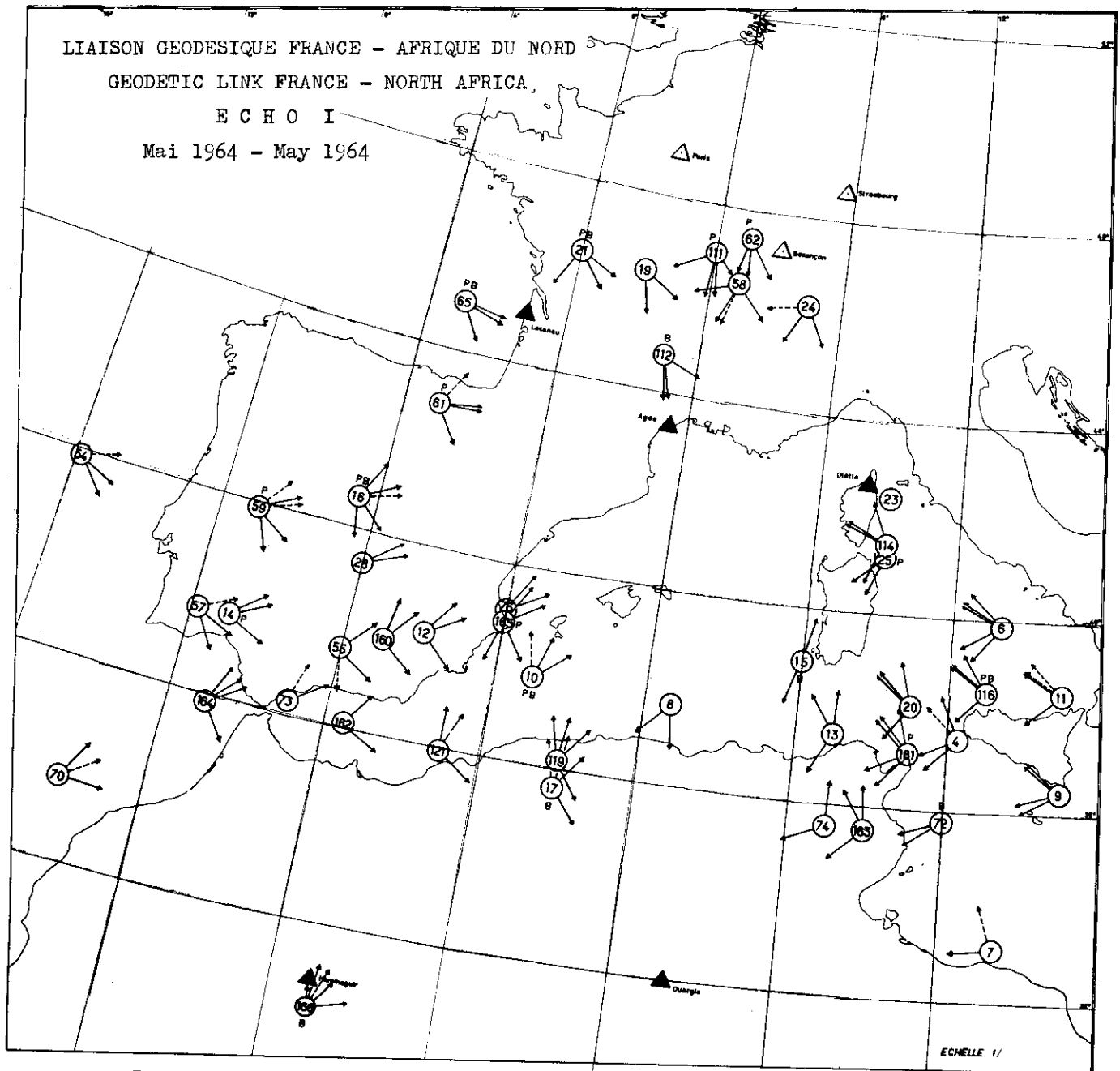
Il était prévu environ 60 positions de satellite à photographier (chacune comportant d'ailleurs 60 pointés). Voici le nombre des photos réussies :

Hammaguir	: 15
Oletta	: 40
Lacanau	: 25
Ouargla	: 40
Agde	: 35

Naturellement, tout point visé simultanément d'au moins 2 stations est exploitable. Théoriquement, la probabilité d'une position à 5 clichés réussis est :

$$\frac{15}{60} \times \frac{40}{60} \times \frac{40}{60} \times \frac{35}{60} \times \frac{25}{60} \neq \frac{1}{37}$$

(En fait, il y a deux points seulement réussis entièrement sur 60).



IV. DEPOUILLEMENT DES PLAQUES - CALCULS

L'exploitation des observations de terrain a été réalisée par l'IGN en procédant aux étapes de calcul suivantes :

- A - Calcul des positions théoriques des étoiles sur les plaques
- B - Observations au comparateur des étoiles et des images du satellite
- C - Lissage des positions du satellite sur plaque
- D - Passage des coordonnées plaque des étoiles aux cosinus directeurs dans le système terrestre tridimensionnel. Application de la transformation aux coordonnées plaque du satellite
- E - Etude de la dispersion des intersections sur Echo, à partir des 5 points de station considérés comme déterminés par la géodésie classique
- F - Compensation du réseau géodésique d'ensemble à partir d'un point fixe considéré comme origine et détermination des coordonnées des 4 autres stations. Comparaison avec la triangulation classique.

Nous examinerons ci-dessous ces 6 points :

A - jusqu'à ce jour, l'IGN, étant donné la faible ouverture des objectifs des chambres balistiques utilisées (7 cm,00) et les ennuis qui résultent souvent de positions stellaires mal connues, a préféré s'en tenir aux étoiles parfaitement suivies et se limite à dépouiller celles du F.K.4. Au cours des observations, on procède à une double pose (1 pose juste avant et 1 pose immédiatement après le passage).

L'observateur détermine l'azimut et la distance zénithale de l'axe de prise de vue au grade ou 1/2 grade près et détermine l'heure de prise de vue des étoiles à la précision de 0 sec,05 au moins.

Etant alors donnée, pour chaque plaque photographique, sa position approchée (distance zénithale, azimut de l'axe et heure exacte d'observation) un calcul permet de sélectionner les étoiles du F.K.4 qui se trouvent dans un rayon de 6 cm autour du centre plaque, et d'en calculer la position théorique (x_c, y_c) .

Dans ce calcul, on tient compte de la réfraction.

B - Passage au comparateur : l'Institut géographique national dispose de 2 comparateurs Zeiss-IENA pour la mesure des plaques.

Ils sont installés dans un sous-sol climatisé où la température est maintenue constante à deux degrés près. Le dépouillement d'une plaque demande environ une journée. Les observations sont exécutées par deux opérateurs : la différence des lectures enregistrées n'est en général pas significative sur les images stellaires; sur le satellite, elle atteint au maximum 5 microns. Cette différence semble être due au flou de l'image du satellite sur les bords, dans le sens de la trajectoire. Une étude est actuellement en cours pour déceler les erreurs systématiques commises dans la mesure des plaques. Ces conclusions ne sont pas encore entièrement dégagées.

C - Lissage des images du satellite : il pourrait paraître séduisant de traiter toutes les images du satellite et de les introduire simultanément dans la compensation d'ensemble. On a dû y renoncer jusqu'ici faute de moyens de calcul suffisamment puissants; on a donc cherché à substituer aux 60 images du satellite que l'on mesure sur la plaque un petit nombre d'observations qui puissent être représentatives de cet ensemble. Pour cela, on procède au "lissage" des coordonnées du satellite.

Sa trajectoire peut être considérée comme représentable dans l'espace, pendant la durée d'une minute, par un polynôme du 3ème degré. En perspective, sur une plaque photographique, apparaît un terme du 4ème degré non négligeable dû, en partie à l'inclinaison de la trajectoire par rapport au plan de la plaque et en partie à sa courbure. Il s'agit donc d'obtenir une formule précise d'interpolation.

On écrit par suite 2 polynômes :

$$X = A_1 + B_1 t + C_1 t^2 + D_1 t^3 + E_1 t^4$$

$$Y = A_2 + B_2 t + C_2 t^2 + D_2 t^3 + E_2 t^4$$

dont on détermine les coefficients par la méthode des moindres carrés.

Les résidus permettent d'obtenir une estimation de la précision des pointés sur le satellite. En règle générale, on trouve les erreurs moyennes quadratiques suivantes :

$$\begin{aligned} & \pm 3 \mu, 3 \text{ dans le sens de la trajectoire} \\ & \pm 2 \mu \quad \text{dans le sens perpendiculaire.} \end{aligned}$$

Les coordonnées lissées (X Y) pour une valeur centrale t_0 seront seules exploitées dans le calcul des directions du satellite et de leurs intersections.

D - Etablissement de la formule de passage des coordonnées plaque au système cartésien terrestre

Les coordonnées (x_0, y_0) convenablement corrigées de la distorsion et (x_c, y_c) des étoiles correspondent au même faisceau de directions stellaires, coupé respectivement par le plan théorique qui correspond aux éléments azimutaux et zénithaux approchés.

Entre (x_0, y_0) et (x_c, y_c) existe une relation homographique :

$$\begin{aligned} x_c &= \frac{a_1 + b_1 x_0 + c_1 y_0}{1 + b x_0 + c y_0} \\ y_c &= \frac{a_2 + b_2 x_0 + c_2 y_0}{1 + b x_0 + c y_0} \end{aligned}$$

d'où les relations d'observation :

$$\begin{aligned} a_1 + b_1 x_0 + c_1 y_0 - b x_0 x_c - c y_0 x_c - x_c &= v \\ a_2 + b_2 x_0 + c_2 y_0 - b x_0 y_c - c y_0 y_c - y_c &= v \end{aligned}$$

Elles contiennent 8 paramètres : on n'a pas jugé nécessaire d'introduire davantage de paramètres dans les formules de transformation des coordonnées parce qu'il vaut vraisemblablement mieux appliquer la transformation géométrique correcte avec un petit nombre de paramètres qu'une formule quadratique de transformation à nombreux paramètres arbitraires qui peut donner une erreur moyenne quadratique apparente beaucoup moindre, mais également poser des mécomptes dans l'interpolation réelle.

L'ensemble de ces relations, compensé par les moindres carrés, fournit les coefficients de la transformation homographique ci-dessus qui, appliquée aux coordonnées lissées des flashes, donne des coordonnées (x_F, y_F) du satellite.

Par un changement d'axes connus, on passe ensuite de (x_F, y_F) aux cosinus directeurs dans le système cartésien terrestre.

D'après les résidus de ces équations on tire une évaluation de la précision des pointés sur étoiles.

On trouve en moyenne pour une plaque constituée d'étoiles équatoriales, les erreurs moyennes quadratiques suivantes :

+ 3μ dans le sens du mouvement diurne

+ 2μ dans le sens perpendiculaire.

Au total, la direction lissée du flash central a une erreur moyenne quadratique résultant de 3 causes :

- l'imprécision des pointés sur les images du satellite
- l'imprécision de la formule de passage des coordonnées (x_0, y_0, x_0, y_0)
- l'erreur sur l'heure d'observation (de l'ordre de 1/1.000 sec.)

Ces trois erreurs sont du même ordre de grandeur (1/200.000).

E - Intersection dans l'espace

A partir des coordonnées géodésiques connues, l'intersection du satellite dans l'espace donne une idée de la précision de la méthode, dans la mesure où l'on peut admettre que la cohérence des coordonnées géodésiques classiques est supérieure à celle qui est donnée par la liaison par satellite - ce qui est d'ailleurs inexact.

Le tableau N° 1 résume les résultats obtenus.

Il faut noter que nulle correction de phase n'a été apportée jusqu'ici à ces mesures : il est en effet difficile de savoir comment se comporte exactement le satellite en tant que source de lumière et en particulier il faudrait déceler s'il se comporte en réflecteur

parfait ou en diffuseur ou si le flux lumineux qui en parvient est à la fois réfléchi ou diffusé et dans quelle proportion. Il est non moins certain que l'application d'une correction de phase ne pourrait qu'améliorer encore les résultats.

Tableau N° 1

	0m	5m	10m	15m	20m	25m	30m	35m	40m	45m	50m
Station 1 Oletta	3	12	10	9	8	2	3	1	2	/	50
Station 2 Agde	4	24	54	26	22	14	4	4	/	4	156
Station 3 Lacanau	9	30	28	27	30	11	7	3	3	5	153
Station 4 Ouargla	5	27	38	27	25	21	3	4	4	/	154
Station 5 Hammaguir	4	18	44	40	15	11	3	1	4	1	141
	25	111	174	129	100	59	20	13	13	10	654

Ce tableau indique pour chaque station la répartition statistique des écarts métriques des visées issues des différentes stations : par exemple il signifie qu'à la station de Lacanau (n° 3) 30 visées sur les 50 qui ont été étudiées, passent à une distance comprise entre 5 et 10 mètres de la position théorique du satellite visé. Ces chiffres sont évidemment entachés des erreurs systématiques dues à l'erreur de position de chacun des points de triangulation .

Si l'on veut avoir une idée de la répartition réelle des écarts des visées on peut se baser sur le chiffre suivant qui résulte des travaux décrits dans le paragraphe F (voir tableau 2) : l'erreur moyenne quadratique d'une direction observée est après compensation libre^{1/} $\pm 7.5 \times 10^{-6}$.

1/ C'est-à-dire indépendamment des erreurs de position des points connus.

L'altitude moyenne du satellite à l'époque des observations était de 1750 km dans la zone des travaux. Si l'on admet que la longueur moyenne des visées est de l'ordre de 2.100 kms (la distance d'observation varie entre 1800 et 2500 km), cette erreur angulaire correspond à un écart moyen quadratique de ± 16 ms, soit un écart probable de l'ordre de 10 à 11 ms. Cette erreur moyenne quadratique résulte des erreurs multiples d'observation ou de dépouillement et de l'erreur de synchronisation, comme on l'a dit plus haut.

F - L'ensemble des vérifications E ayant été effectué, on a procédé à la compensation générale du réseau en adoptant un point, Agde en l'occurrence, comme origine générale du réseau et en imposant l'échelle sur le côté déjà connu par la triangulation : Agde - Ouargla.

On trouvera les résultats de la comparaison et quelques indications générales concernant les comparaisons que l'on peut établir entre les divers éléments dans le tableau 2.

Le tableau 3 est consacré à l'étude de la synchronisation des obturateurs. On sait que les obturateurs sont synchronisés par les signaux horaires, reçus directement à l'aide d'un dispositif à éclairs sur l'obturateur tournant lui-même.

L'examen de ce tableau montre que l'on peut escompter obtenir la synchronisation avec la précision du millième de seconde ce qui est à peu près le but que l'on se fixait à priori. Ce résultat est en assez bon accord avec la valeur de l'écart obtenu dans l'examen des dispersions des visées : si l'on tient compte que l'erreur moyenne quadratique des visées est de l'ordre de ± 16 mètres comme on l'a vu, sachant que la part imputable à la mesure des clichés, etc. est de l'ordre de ± 2 à 3 microns sur plaque, soit environ 1:150.000, ce qui correspond en gros à une douzaine de mètres, on voit que l'on est en bon accord avec le résultat précédent puisque on peut écrire que l'erreur moyenne quadratique de $\pm 7,5 \times 10^{-6}$ au point de vue angulaire est la résultante de l'erreur de pointé sur plaque, soit environ $\pm 1:150.000 \approx \pm 6.6 \times 10^{-6}$,

plus l'erreur due à la synchronisation, soit puisque le satellite dont l'éloignement est de 2.100 km parcourt 7 ms,5 par 10^{-3} seconde environ, en prenant comme unité le 1:1000 de seconde de temps.

$$(7,5)^2 = (6,6)^2 + \xi^2 \quad \frac{7,5}{2,1}^2$$

d'où l'on tire $\xi = \pm 10^{-3}$ seconde.

Conclusions : tous ces résultats sont encourageants. Ils montrent que la triangulation spatiale sur les satellites brillants du type Echo, telle que l'a étudiée l'IGN avec un matériel léger et portatif est une opération assez délicate quant à l'organisation, mais en définitive, simple, rationnelle et précise.

On peut situer la précision de l'opération France - Algérie à un chiffre de l'ordre de 1:100.000 à 1:150.000 au moins.

Elle a été obtenue avec un matériel d'étude qui était loin d'être parfait, en particulier les prototypes de chambres balistiques utilisés étaient munis d'objectifs assez médiocres. De nombreuses conclusions découlent des enseignements de cette opération; il a été décidé en particulier :

- d'augmenter la rapidité des émulsions photographiques
- de faire un choix parmi les plaques photographiques pour sélectionner et sensibiliser les plus planes et les meilleures au point de vue optique
- de munir les chambres de très bons objectifs - les nouveaux objectifs donnent toute satisfaction sous ce rapport.

Au point de vue des observations : il a été convenu de disposer désormais en chaque station 2 chambres balistiques à axes parallèles travaillant en synchronisation de manière à se contrôler mutuellement,

- de recueillir les signaux horaires de plusieurs émetteurs, de manière à éviter les anomalies de propagation, etc.

La mise en oeuvre de ces mesures permet d'affirmer que la triangulation stellaire est susceptible d'une très haute précision :

le 1:200.000 est certain et doit pouvoir s'obtenir couramment; des précisions encore supérieures ne sont nullement exclues : le tout est une question de soins et de dépistage des erreurs systématiques. On sent très bien dans l'examen des résultats que la triangulation spatiale sur satellites a une précision supérieure à celle de la triangulation classique. L'échelle ne pourra donc être fixée que par des mesures classiques de très haute précision, entreprises sur d'immenses distances - cheminements au géodimètre - ou par des mesures directes sur satellite par Lasers par exemple. De toute façon, l'instrument simple dans sa conception et son exécution paraît un des plus séduisants de ceux que l'on ait jamais mis entre les mains du géodésien. Il mérite d'être utilisé à fond, et l'on peut certifier qu'une grande voie est ouverte à l'avenir. La triangulation mondiale dont divers projets sont d'ailleurs en état de préparation avancée est effectivement pour demain.

Tableau 2

	1	OLETTA	2	AGDE	3	LACANAU	4	OUARGLA	5	HAILAGUIR						
1											+	312.3707, 10	323.3657, 20	219.6721, 93	249.2169, 11	Azimuts
											S	02, 38	58, 19	23, 67	68, 86	
											+	107.9308, 40	115.2334, 08	17.0024, 70	40.9096, 04	Azimuts
S	03, 70	34, 29	26, 06	95, 71												
											+	484.184, 1	888.604, 5	1.232.645, 8	1.699.842, 0	Distances
											S	182, 6	610, 6	650, 5	839, 3	
2											+	331.5492, 67	190.8647, 20	227.6843, 86	Azimuts	
											S	96, 95	50, 20	44, 59		
											+	127.9146, 67	392.1680, 24	23.2734, 09	Azimuts	
S	50, 16	82, 82	34, 76													
											+	420.407, 7	1.270.247, 4	1.491.208, 9	Distances	
											S	417, 4	--	204, 7		
3											+	173.5505, 65	207.2140, 75	Azimuts		
											S	05, 65	37, 06			
											+	378.1501, 61	5.9437, 27	Azimuts		
S	01, 89	34, 19														
											+	1.555.721, 3	1.571.977, 8	Distances		
											S	728, 0	571.977, 9			
4											+	Erreur moyenne quadratique		Azimuts		
											S	d'une visée spatiale				
												Emq = $\pm 7,5 \times 10^{-6}$				
											+	88.3611, 65	88.3611, 65	Azimuts		
											S	14, 96	14, 96			
											+	811.352, 5	811.352, 5	Distances		
											S	345, 2	345, 2			

+ valeur par la triangulation classique
S valeur par la triangulation spatiale

Azimuts : système centésimal

Distances en mètres.

Tableau 2 (suite)

Coordonnées trirectangleaires :

	Triangulation classique	Triangulation sur satellite	
<u>Oletta</u>	4.639.113,45	4.639.104,91	- 8,54
	764.588,58	764.586,61	- 1,97
	4.296.137,67	4.296.134,08	- 3,59
<u>Agde</u> (origine)	4.640.374,31		0
	283.672,31		0
	4.352.282,36		0
<u>Lacaneu</u>	4.516.066,69	4.516.055,18	- 11,51
	- 94.246,80	- 94.254,37	- 7,57
	4.488.177,22	4.488.175,61	- 1,61
<u>Ouargla</u>	5.393.662,31	5.393.653,18	- 9,13
	510.808,43	510.801,91	- 6,52
	3.355.038,70	3.355.030,31	- 8,41
<u>Hammaguir</u>	5.471.590,45	5.471.575,27	- 14,82
	- 290.633,99	- 290.634,06	- 0,07
	3.255.488,81	3.255.483,04	- 5,77

N.B. - L'existence de ces discordances négatives systématiques semble prouver que le choix de l'origine était défectueux en altitude; on remarquera qu'une translation de $x + 10$ m $y = + 3$ m. $z = + 5$ m. aurait donné des résultats en apparence encore plus satisfaisants.

Le résultat paraît en lui-même assez intéressant sous cet aspect pour que l'on se soit dispensé de ce petit artifice. Il n'est d'ailleurs nullement exclu que le calcul du géoïde qui dans la région du point d'origine (Agde) n'a pas pu encore être fait parce que le levé astronomique n'y est pas encore exécuté ne vienne rendre compte d'une partie de la discordance.

Tableau 3

Date	Heure	EMQ	Date	Heure	EMQ	Date	Heure	EMQ
19/20/6	0h23	± 1.10	28/29/6	21h45	0.96	13/14/7	0h57	1.25
	2h20	0.92		23h48	1.05			
	4h22	1.48		3h53	0.90			
20/21/6	0h57	1.55	29/30/6	22h21	0.46	14/15/7	23h32	1.91
	2h57	1.05		0h27	0.78		3h22	0.77
	---	---		2h26	1.20			
21/22/6	23h32	1.26	1/2/7	1h39	1.29	15/16/7	0h09	0.87
	1h32	2.21		3h47	1.25		2h50	0.69
		1.32		4h48	1.18			
22/23/6	0h07	0.88	2/3/7	2h15	1.09	16/17/7	2h17	0.91
23/24/6	22h45	1.03	3/4/7	22h52	0.48	17/18/7	21h21	0.91
				0h51	0.82		1h18	0.95
				2h54	0.79			
			3h46	1.66				
24/25/6	1h22	1.03	4/5/7	23h28	1.05	21/22/7	23h47	1.30
	3h27	1.09		3h33	1.42		3h15	1.29
25/26/6	0h02	0.89	8/9/7	23h53	0.62	22/23/7	22h24	0.48
	4h03	0.32		3h56	0.78			
				4h43	0.72			
26/27/6	22h34	1.33	9/10/7	22h33	0.93	23/24/7	23h00	1.05
	0h36	0.32		0h28	0.67			
27/28/6	1h13	0.58	12/13/7	22h21	0.90			
	3h17	0.51		2h37	0.67			

Ce tableau 3 donne en millièmes de seconde l'erreur moyenne quadratique de synchronisation de l'obturateur tournant, par rapport aux signaux horaires.

La première colonne donne la date de réception, la deuxième donne l'heure, la troisième l'erreur moyenne quadratique de détermination de l'état de l'obturateur qui, dans le procédé utilisé par l'IGN constitue une véritable horloge à quartz.

Pour obtenir cette EMQ, on procède comme suit : chaque réception d'heure est faite sur plusieurs émetteurs continus (DIZ, OLB 5, M.S.F., W.W.V., R.W.I.). Après correction semi-définitive par le B.I.H. et correction adéquate de propagation recalculée pour la station considérée, on obtient pour chaque émetteur dans l'intervalle de temps considéré, l'état et la marche chronoscope.

On compense alors pour chaque réception l'ensemble des données observées en supposant que la marche du chronoscope est constante au cours de la prise d'heure.

Il en résulte une heure que l'on compare aux valeurs individuelles obtenues pour chaque émetteur.

La comparaison donne l'erreur accidentelle correspondant à chaque réception. On en déduit l'erreur moyenne quadratique de la réception.

Les valeurs reproduites ci-dessus correspondent à une station de la liaison Continent Açores exécutée en 1966 - les résultats sont dans tous les cas similaires.

L'erreur moyenne quadratique ressort à :

$$\xi = \pm 0,99.10^{-3} \text{ seconde.}$$