

NATIONS UNIES
CONSEIL
ECONOMIQUE
ET SOCIAL



46798



Distr.
LIMITEE

E/GN.14/CART/18

E/CONF.43/18

10 mai 1963

Original: FRANCAIS

CONFERENCE CARTOGRAPHIQUE REGIONALE
DES NATIONS UNIES POUR L'AFRIQUE
Nairobi (Kenya), 1-13 juillet 1963
Point 13(b) de l'ordre du jour provisoire

NOTE SUR LA METHODE EMPLOYEE PAR L'INSTITUT GEOGRAPHIQUE NATIONAL
POUR LE LEVE DE LA CARTE AU 1/200.000 DES REGIONS SAHARIENNES

(Communication présentée par le Gouvernement français)

NOTE SUR LA METHODE EMPLOYEE PAR L'INSTITUT GEOGRAPHIQUE NATIONAL
POUR LE LEVÉ DE LA CARTE AU 1/200.000 DES REGIONS SAHARIENNES

L'établissement de cartes par la stéréophotogrammétrie aérienne, méthode désormais utilisée à peu près exclusivement dans le monde entier à toutes les échelles dites "topographiques", exige la connaissance des coordonnées et altitudes d'un certain nombre de points-repères identifiables sur les photographies. Ces repères sont nécessaires pour déterminer lors de la "restitution" les paramètres de position et d'orientation des clichés, qu'il est impossible de déterminer, du moins avec la précision souhaitable, au moment de la prise de vues.

Chronologiquement, la première méthode employée consiste à déterminer entièrement ce canevas de restitution par des opérations de terrain, s'appuyant sur des réseaux de géodésie et de nivellement denses, précis et homogènes. C'est encore actuellement la seule utilisable, aux échelles de levé dites moyennes ou grandes, de 1/1.000 à 1/20.000, pour des levés réguliers.

Cette méthode, encore que lourde et onéreuse, reste tolérable dans des pays à forte densité de population, où le réseau de voies de communication est dense, où les gîtes sont nombreux et les parcours faciles. La durée des opérations de terrain et leur coût deviennent prohibitifs lorsqu'il s'agit de régions peu peuplées, désertiques ou semi-désertiques, où l'échelle adoptée pour la carte est plus petite (1/50.000, 1/100.000 ou 1/200.000), où par conséquent la précision altimétrique recherchée est moindre.

On a cherché alors à substituer aux opérations de terrain des opérations de mesure sur photographies et de calculs, grâce auxquelles une proportion importante des opérations de terrain peut être économisée, ces dernières se réduisant à la détermination d'un nombre limité de points en position ou en altitude. Cette méthode, d'un emploi très général, quels que soient la nature du terrain, son relief, sa couverture végétale, est connue sous le nom d'aérocheminement. Elle est appliquée depuis une quinzaine d'années avec des modalités d'exécution diverses, à partir de principes généraux constants et bien définis.

La méthode d'aérocheminement connaît depuis quelques années une nouvelle orientation et de nouveaux développements avec l'apparition des grandes calculatrices électroniques modernes, qui permettent de remplacer par des calculs plus rigoureux les opérations de compensation interne (liaisons entre clichés à l'intérieur d'un même bloc) ou externe (introduction des données d'appareils auxiliaires tels que statoscope, enregistreurs de verticale, etc.) qui se faisaient auparavant graphiquement ou mécaniquement de façon approchée.

Mais cet aérocheminement comporte un certain nombre d'opérations successives, depuis les opérations préalables de choix et de piquage des points jusqu'au stade final du calcul et des compensations définitives, qui exigent du temps, des personnels très spécialisés, et la mise en oeuvre de matériels rares et onéreux : appareils restituants de premier ordre, stéréocomparateurs de haute précision, calculatrices électroniques à très grande puissance.

Aussi, lorsque l'IGN dut entreprendre, en 1958, le levé systématique, par tranches annuelles de 200.000 km² environ, le levé régulier d'une carte au 1/200.000 des régions sahariennes, chercha-t-il une méthode qui permit de déterminer le canevas de restitution nécessaire sans avoir recours à l'aérocheminement. Il utilisa à cette fin un appareil apparu sur le marché quelques années plus tôt, l'enregistreur de profils aéroportés (APR).

A. Principe de l'APR

Rappelons brièvement que l'APR comporte une antenne dirigée suivant la verticale qui émet vers le bas un faisceau étroit d'ondes électromagnétiques, qui sont réfléchies par le sol, et captées par l'avion porteur de l'appareil, celui-ci mesurant le temps écoulé entre l'émission d'une onde et la réception de l'onde réfléchie. Il en résulte un enregistrement graphique continu de la distance brute avion-sol, qui donne un profil du terrain à une certaine échelle. Les variations d'altitude de l'avion sont détectées par un hypsomètre très sensible, dont les indications se combinent avec la réception de l'écho pour fournir un profil corrigé

(profil rouge), qui est le profil du terrain rapporté à une surface isobare. Si l'on connaît les altitudes absolues de deux points du terrain sur le profil, on peut en déduire l'inclinaison par rapport aux surfaces de niveau des surfaces isobares supposées parallèles (ce qui est légitime étant donné les faibles variations d'altitude de l'avion); on peut donc "basculer" le profil pour le rapporter à une surface de niveau et, à partir des points d'altitude connue, déterminer les altitudes absolues de tous les points du profil.

L'APR comporte en outre une petite caméra, dont l'axe est réglé parallèlement à l'antenne d'émission, et dont les déclenchements s'enregistrent sur la bande d'enregistrement des profils, identifiant ainsi sur le profil chaque centre des petites photos 24 x 36 mm. prises par la caméra.

B. Méthode de détermination du canevas de restitution employée pour la carte au 1/200.000 du Sahara

I. Planimétrie - Le canevas planimétrique est obtenu par la méthode désormais classique de la triangulation par fentes radiales (TPFR). Ce canevas est appuyé sur un petit nombre de points astronomiques (distance entre points voisins de 50 à 60 km). En faisant abstraction des grands massifs montagneux (Hoggar, Tibesti), la topographie du Sahara et sa tectonique sont assez peu mouvementées pour que les déviations de la verticale restent faibles. Les erreurs relatives entre points voisins, résultantes de leurs erreurs propres, et des différences de déviation de la verticale, sont réparties chaque fois sur une distance de 50 à 60 km. et correspondent à des variations d'échelle insensibles à l'échelle de la carte.

II. Altimétrie - L'originalité de la méthode utilisée pour la carte des régions sahariennes réside dans le fait que les profils ne sont pas enregistrés au cours de la prise de vues le long des axes des bandes de photographies, mais au cours d'un deuxième vol, suivant des itinéraires

se projetant sur le terrain dans la zone de recouvrement commune à deux bandes contiguës de photographies. Ces profils "longitudinaux" sont complétés par des profils "transversaux", dont certains se trouveront dans la zone de recouvrement entre missions photographiques voisines, cette dernière étant choisie dans une région de relief favorable. D'autres profils transversaux seront choisis plus arbitrairement de façon que tout profil longitudinal soit recoupé au moins par trois profils transversaux. En fait, un profil transversal tous les 100 km. peut suffire.

La hauteur de vol choisie pour l'enregistrement des profils est telle que l'échelle des petites photos 24 x 36 mm. soit très voisine de celle des photos de la couverture stéréoscopique servant pour la restitution. La caméra de l'ensemble APR ayant une focale normale de 27 mm., si la couverture photographique a été réalisée avec une chambre de focale 125 mm. au 65.000^o, donc à une hauteur de vol de 8.100 m., l'enregistrement des profils se fera à une hauteur de vol de 1850 m. environ.

C. Travaux de terrain

La détermination des points astronomiques se fera suivant les procédés désormais classiques de l'astronomie de position. La position de ces points n'est pas imposée de façon rigide; la distance entre points voisins pourra varier dans d'assez larges proportions. Dans le cas du Grand Erg Occidental, certains points prévus dans le projet initial ont dû être abandonnés en raison de la difficulté des accès; la distance moyenne de 50 km. entre points voisins s'est ainsi trouvée portée à 100 km. environ, sans qu'il en résulte de difficultés particulières. Sur le pourtour du bloc, des points sont choisis de façon telle que la TPFR ne soit pas extrapolée.

Quant au réseau altimétrique des profils enregistrés, l'ensemble des profils longitudinaux et transversaux constitue un ensemble qui peut être compensé intrinsèquement. Il suffit ensuite, en principe, de quatre

points connus en altitude absolue aux quatre points du bloc, pour déterminer les cotes absolues de tout l'ensemble.

Etant donné la précision fournie par les profils enregistrés, il faut exclure à priori la détermination des altitudes absolues par voie barométrique. Un nivellement de précision reste nécessaire pour accrocher le réseau APR. Les profils APR seront prolongés jusqu'à recouper un itinéraire nivelé, et le "bloc" à lever sera donc constitué en fonction du réseau de nivellement.

Les travaux de terrain consisteront alors pour chaque point, choisi rigoureusement sur un profil, au voisinage de son intersection avec l'itinéraire nivelé, à déterminer son altitude à partir du plus proche repère de nivellement, situé dans le cas le plus défavorable à 3 ou 4 km.

D. Travaux de bureau

Les photos sont préparées en y piquant et numérotant les points du canevas planimétrique à déterminer par TPFR. Les points devant avoir une définition planimétrique précise seront très souvent différents des points altimétriques de basculement qui doivent être de préférence choisis dans des zones plates, même si leur localisation planimétrique est mal définie.

Pour la carte du Sahara, à partir de photos d'échelle comprise entre 1/65.000 et 1/90.000, le montage de la TPFR se fait à l'échelle du 1/100.000 le report des points sur les mappes au 1/200.000 se faisant au moyen d'un pantographe.

En ce qui concerne l'altimétrie, le dépouillement des profils va comporter un certain nombre d'opérations : d'abord le "lissage" de la courbe d'enregistrement, qui est un tracé en dents de scie très accusées, dont il faut prendre le tracé moyen. Le centre de chacune des petites photos est ensuite reporté sur les photos de la couverture cartographique.

L'égalité approchée de l'échelle des deux documents permet d'observer stéréoscopiquement une petite photo 24 x 36 mm. jumelée avec une photo 18 x 18 cm. ou 23 x 23 cm. Ce report par observation stéréoscopique est indispensable, car le point à reporter n'est pas toujours matérialisé par un détail net.

Les points nécessaires à l'orientation absolue de chaque couple, choisis obligatoirement sur la ligne définie par le profil enregistré, et sur une partie de terrain plate ou de faible pente, sont ensuite reportés sur l'axe des abscisses de la feuille d'enregistrement des profils, par simple proportionnalité entre les distances prises sur la photo entre les centres des petites photographies et les distances correspondantes sur le graphique d'enregistrement.

E. Compensation du réseau des profils enregistrés

Il faut procéder d'abord à une compensation intrinsèque de ce réseau, compensation qui est possible sans connaître aucune altitude absolue. Elle est donc absolument indépendante des observations de terrain; elle pourra se faire à priori, et, lorsque les résultats des rattachements sur le terrain parviendront à l'atelier chargé du calcul, les cotes absolues pourront être déterminées très rapidement.

Si l'on considère le réseau de tous les points "nodaux" constitués par une intersection de profil longitudinal et de profil transversal, et si, partant de l'un des angles du bloc avec une altitude arbitraire, on détermine pour chaque point nodal les altitudes obtenues en suivant deux itinéraires différents, on obtiendra deux altitudes différentes. Si l'on fait intervenir comme inconnues les "constantes" d'altitude correspondant à chacun des profils, et si l'on écrit en chaque point nodal l'égalité des altitudes pour les différents trajets, on obtiendra un nombre d'équations linéaires supérieur au nombre des inconnues, que l'on traitera par les moindres carrés, opération particulièrement simple dans ce cas du fait que les coefficients non nuls sont égaux à l'unité.

La cohérence des profils entre eux étant assurée, il reste à transformer ces altitudes d'origine arbitraire en altitudes vraies. Si les surfaces de niveau coïncidaient avec les surfaces isobares, une seule altitude connue suffirait pour coter l'ensemble des profils. Mais cette coïncidence n'est pas réalisée; il existe d'ailleurs une formule théorique donnant la pente des surfaces isobares par rapport aux surfaces de niveau, en fonction de la dérive de l'avion, de la latitude, de la rotation de la terre, mais cette formule est basée sur certaines hypothèses qui ne sont pas rigoureusement vérifiées. Il apparaît donc plus sûr de déterminer l'altitude vraie de quelques points choisis sur le pourtour du bloc, par rattachement à des repères de nivellement. Les différences entre altitudes vraies et altitudes obtenues après la compensation interne doivent varier linéairement; elles indiquent la pente de la surface isobare de référence par rapport aux surfaces de niveau. Les profils pourront donc être "basculés" sur les points d'altitude connue; si l'on a des points connus en nombre surabondant les basculements pourront être faits sur des valeurs moyennes données par des groupes de points voisins. Les résidus sur les points connus après ce basculement permettront de définir la précision qu'on peut attendre de la méthode.

La détermination des altitudes des points nécessaires à la restitution, reportés comme on l'a vu, sur le graphique d'enregistrement des profils, ne comporte plus que de simples mesures d'ordonnées.

F. Limitations d'emploi de la méthode

Le cône d'ondes émis par l'APR n'est pas d'ouverture négligeable, il découpe sur le terrain une section circulaire; d'autre part, si, à un instant donné, l'axe de l'antenne d'émission n'est pas rigoureusement vertical, cette section sera en réalité légèrement elliptique. On peut dire que l'écho enregistré est une sorte de moyenne des échos relatifs aux différents points de la section du faisceau, et que cette moyenne correspond à un instant donné au nadir de l'antenne, donc au moment du déclenchement de la petite caméra, au centre du petit cliché 24 x 36 mm.

Sur un terrain accidenté, au voisinage d'un changement de pente, l'écho ne se rapportera plus au nadir de l'antenne, mais à un point décalé en position, qu'il est d'ailleurs fort malaisé de définir. Le nadir de la petite photo va donc se trouver affecté dans ce cas d'une erreur altimétrique difficile à chiffrer, mais rapidement inadmissible.

Il importe donc, non que le terrain soit plan, mais qu'il présente des parties plates ou de pente régulière et pas trop forte, suffisamment étendues pour que l'enregistrement puisse s'y stabiliser, et où l'on puisse choisir les points altimétriques du canevas nécessaire à la restitution. Par exemple, au Sahara, un relief même accidenté, est fréquemment de type tabulaire et ne présente pas d'inconvénients majeurs pour l'emploi de la méthode. Au contraire, un terrain topographique classique, à changements de pente fréquents, ne pourra être traité par cette méthode sans des erreurs inadmissibles. Un mouvement de terrain isolé, même très accusé, n'entraînera pas par contre le rejet de la méthode; les photographies couvrant ce mouvement isolé devront alors être traitées par aérotriangulation spatiale.

Les terrains sahariens et les terrains arides en général dépourvus de végétation se prêtent particulièrement bien à l'application de la méthode APR sous les réserves formulées plus haut quant au relief.

G. Les avantages de la méthode

L'avantage le plus évident de la méthode est de permettre la détermination du canevas altimétrique de restitution rapidement, sans calculs compliqués et avec des opérations de terrain extrêmement réduites.

Son originalité réside dans la détermination des altitudes absolues par rapport à la surface de niveau zéro, à partir de dénivelées relatives à une surface isobare de référence variable en principe avec le temps en forme et en position.

Le principe adopté consiste à rétablir l'homogénéité des profils longitudinaux à l'aide des profils transversaux, car les profils longitudinaux ne peuvent pour un bloc important, être tous enregistrés le même jour et les conditions atmosphériques pourront varier d'un jour à l'autre et même au cours d'une même journée. Cependant, la cohérence des résultats obtenus par la méthode de compensation simple, exposée plus haut, et la petitesse des résidus montrent que, dans les régions sahariennes, au voisinage de l'altitude choisie pour les enregistrements de profil, le régime atmosphérique est assez stable pour qu'on puisse considérer les surfaces isobares comme ayant une pente et une courbure constantes, et variant simplement par une translation verticale.

H. Les résultats obtenus

Cette méthode est couramment appliquée depuis plusieurs années pour les tranches successives annuelles de levé au 1/200.000 de la carte du Sahara.

Le schéma joint se rapporte à un bloc particulièrement important, celui du Grand Erg Occidental, région de parcours difficile, où la densité initialement prévue des points astronomiques a dû être réduite, comme on l'a vu plus haut.

Ce bloc, qui couvre, en surface, 17 feuilles au 1/200.000 environ (185.000 km²), est appuyé au nord, à l'ouest et au sud sur une traverse de nivellement de précision, à l'est sur des points cotés déterminés par APR lors du levé antérieur d'un bloc voisin. Il est en raccord en outre avec divers levés (photogrammétriques au 1/100.000 au nord, topographiques par planchette au 1/200.000 à l'ouest).

Le schéma donne les écarts entre les cotes provisoires obtenues après compensation interne (définies à une constante près, voisine de 50 m.) et les cotes vraies tirées des observations de terrain ou des raccords, les premières ayant en général une valeur beaucoup plus précise.

Après une compensation définitive comportant surtout un basculement dans le sens est-ouest, la valeur moyenne des résidus est de 3 à 4 m. Le nombre des points cotés sur le terrain est très largement surabondant; or tous ces points ont été reportés sur le schéma, même ceux dont la détermination pour l'APR est peu favorable, et il en existe un certain nombre, en particulier dans la région montagneuse de Colomb-Béchar, à l'ouest du bloc; ces points auraient dû logiquement être exclus des résultats. On constate donc que l'homogénéité de l'ensemble est très satisfaisante et convient très bien à un levé à 1/200,000.

I. Emploi des chambres super grand-angulaires

L'échelle minimum des photographies est limitée par le plafond des avions utilisés pour la prise de vues et la focale employée. Avec les chambres grand angulaire cette échelle minimum est de 1/65,000 environ, correspondant à une hauteur de vol au-dessus du terrain voisine de 8.000 m. L'emploi des chambres à film super-grand-angulaire a permis, pour une même hauteur de vol, des prises de vues à échelle voisine de 1/90.000.

La diminution de l'échelle d'une part, le plus grand format des clichés d'autre part (23 x 23 au lieu de 18 x 18) permettent un gain important sur le nombre des clichés couvrant une surface donnée. Pour une feuille au 1/200.000 ($1^{\circ} \times 1^{\circ}$), le nombre des couples est ramené en moyenne de : 280 à une centaine. La restitution reste possible, malgré l'importance du champ de la photographie, sur les appareils de restitution à double décentrement dont dispose l'Institut Géographique National, en particulier sur les stéréotopographes Poivilliers type D. La distance principale de restitution choisie est amplifiée par rapport à la distance principale de prise de vues, de façon à rester dans les latitudes mécaniques de l'appareil.

L'emploi de la chambre super grand-angulaire dans les régions favorables a permis une économie substantielle pour la prise de vues

(nombre des bandes diminué dans la proportion de 16 à 10), pour les enregistrements de profil (nombre des profils longitudinaux diminué, dans la même proportion), et les opérations ultérieures de dépouillement des profils, de détermination des altitudes, et de mise en place des couples sur les appareils de restitution, puisque leur nombre est moindre pour une surface donnée.

Conclusion

Cette méthode a été utilisée depuis 1958 au levé de plus de 700.000 km² à 1/200.000 des régions sahariennes.

Sous réserve des conditions qui doivent être réalisées pour un emploi judicieux, c'est une méthode extrêmement efficace, rapide, dont les avantages principaux sont la facilité du dépouillement et des opérations de calcul des altitudes, ainsi que le très petit nombre de points altimétriques d'appui qu'il est nécessaire de déterminer sur le terrain.

Les blocs à traiter ainsi ne peuvent pas être arbitrairement choisis; leur forme est déterminée essentiellement par la densité et l'emplacement des traverses de nivellement de précision, qui restent nécessaires, mais qui constituent, en tout état de cause, un équipement du terrain indispensable pour toutes les études diverses relatives à la mise en valeur du territoire.

- - - - -

11/11/11
11/11/11
11/11/11

... ..
... ..
... ..
... ..
... ..

11/11/11

... ..

... ..

... ..
... ..
... ..
... ..
... ..

... ..

... ..

... ..
... ..

... ..
... ..

11/11/11

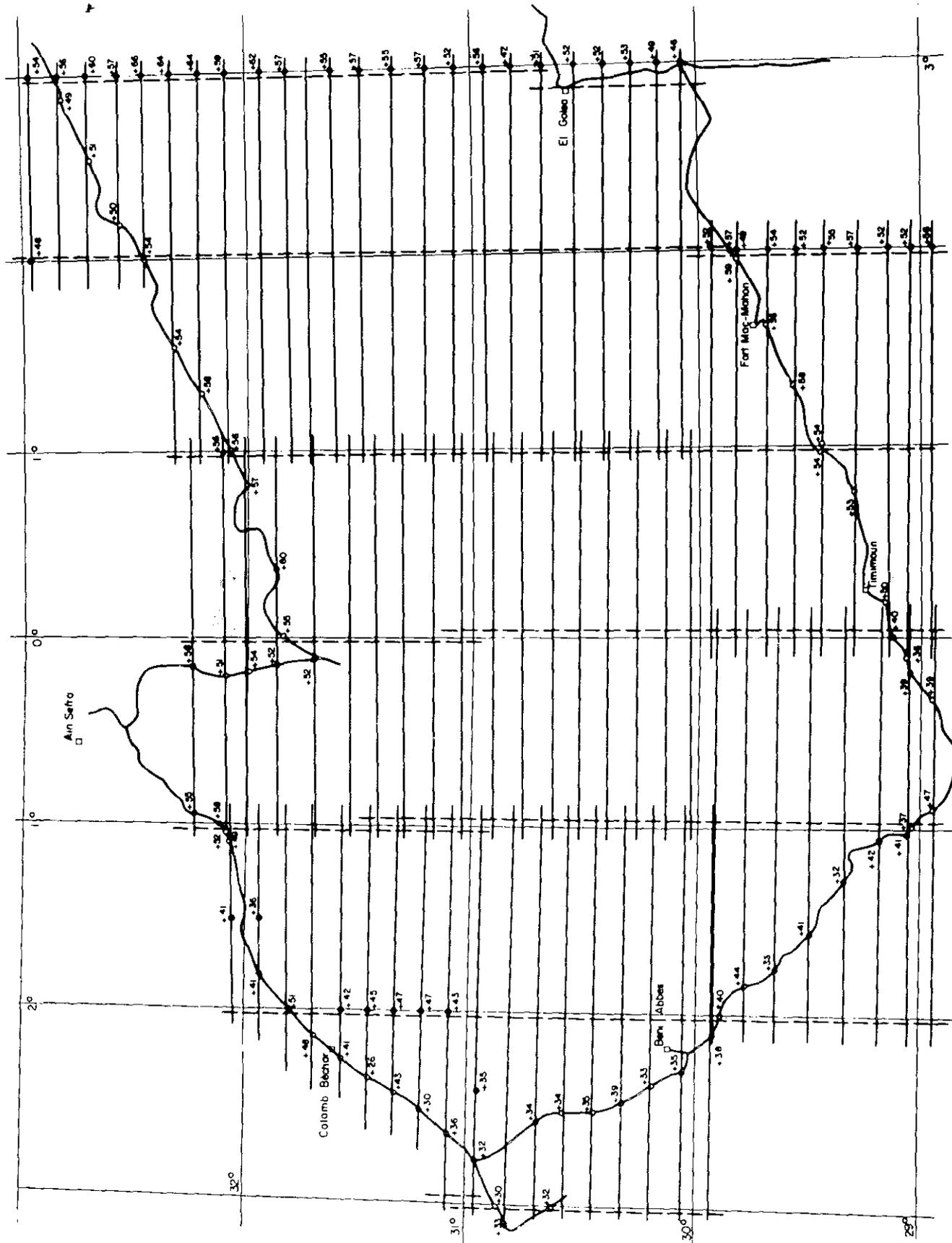


Schéma I - ERG OCCIDENTAL