

MISSION DE RATTACHEMENT ALTIMÉTRIQUE DE L'ÎLOT DU PLANIER AU NIVELLEMENT GÉNÉRAL DE LA FRANCE

par Germain DESCOSY

I. — EXPOSÉ DES MOTIFS ET CONDUITE DES TRAVAUX.

Les travaux faisant l'objet de cette mission ont été effectués à la demande de Monsieur COUTEAUD, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Directeur du port de Marseille. Le Service maritime des Ponts et Chaussées de ce port se propose en effet d'installer en 1960 un marégraphe de précision sur l'îlot du Planier situé à 15 km au large de Marseille, et à 13,5 km du marégraphe origine du nivellement (fig. 1).

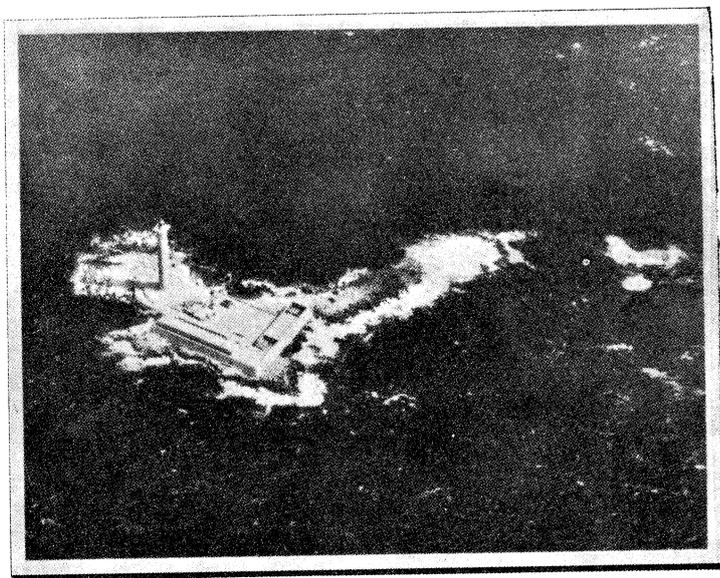


FIG. 1. — *L'îlot du Planier.*

Le problème consiste à rattacher altimétriquement l'îlot au réseau de nivellement continental, ce qui permettra de connaître ultérieurement les différences des niveaux moyens entre les deux marégraphe précités, ainsi que les variations respectives et comparatives de ces niveaux moyens. Il apparaît que, si le marégraphe origine situé au fond de l'anse calvo depuis 1885, est soumis à des courants côtiers perturbateurs, le marégraphe du Planier peut être considéré comme une station océanique de pleine mer dont les observations donneront rapidement des indications très précieuses.

Le problème du rattachement de l'îlot a été facilité par l'existence d'un phare dont la plateforme située à 63 m d'altitude a permis l'exécution des visées d'observation au voisinage

de l'horizontale; ces visées passent à 60 m environ au-dessus du plan d'eau moyen pour les côtés de jonction de 10 km qui ont été choisis (fig. 2).

La reconnaissance a été effectuée en juillet 1959 par le Chef de section. Les opérations amorcées en novembre et arrêtées en décembre par le mauvais temps ont été reprises de mai à juin 1960.



FIG. 2. — *Le phare du Planier.*

II. — ORGANISATION ET MARCHE DES TRAVAUX.

A) *Schéma des opérations.*

Le rattachement du marégraphe de l'îlot du Planier au marégraphe O, de l'anse Calvo comprend essentiellement deux éléments :

- 1) un cheminement de haute précision effectué aller et retour sur le littoral, et reliant le marégraphe à la station du Mont Rose, choisie sur la partie de la côte la plus rapprochée du Planier, facilement rattachable au réseau et de même altitude que le phare;
- 2) un faisceau de visées réciproques et simultanées réalisées au théodolite Wild T₃ et reliant la station du Mont Rose à la plateforme du phare distante de 10,4 km.

Pour assurer un contrôle indépendant de ces mesures on a procédé à une détermination complémentaire en empruntant un itinéraire différent, passant par l'île de Pomègues.

Cet itinéraire comprend : une traversée de 2 km, un cheminement de précision de 3,6 km dans l'île, et enfin une traversée de 10,4 km reliant le phare du Planier, réalisée comme pour la traversée de Mont Rose — Planier par visées réciproques et simultanées au théodolite Wild T₃.

Une traversée de 6 km reliant les stations du Mont Rose et de Pomègues assure en outre une fermeture transversale qui complète l'étude de la précision des observations sur le triangle Mont Rose — Planier — Pomègues — A.B.C. (fig. 3).

B) *Marche générale des travaux.*

Du 9 novembre au 14 décembre 1959, avec arrêt en raison de mauvaises conditions atmosphériques, et du 20 mai au 15 juin 1960.

Il est à remarquer que ces opérations se situent à 6 mois d'intervalle et au voisinage des deux solstices.

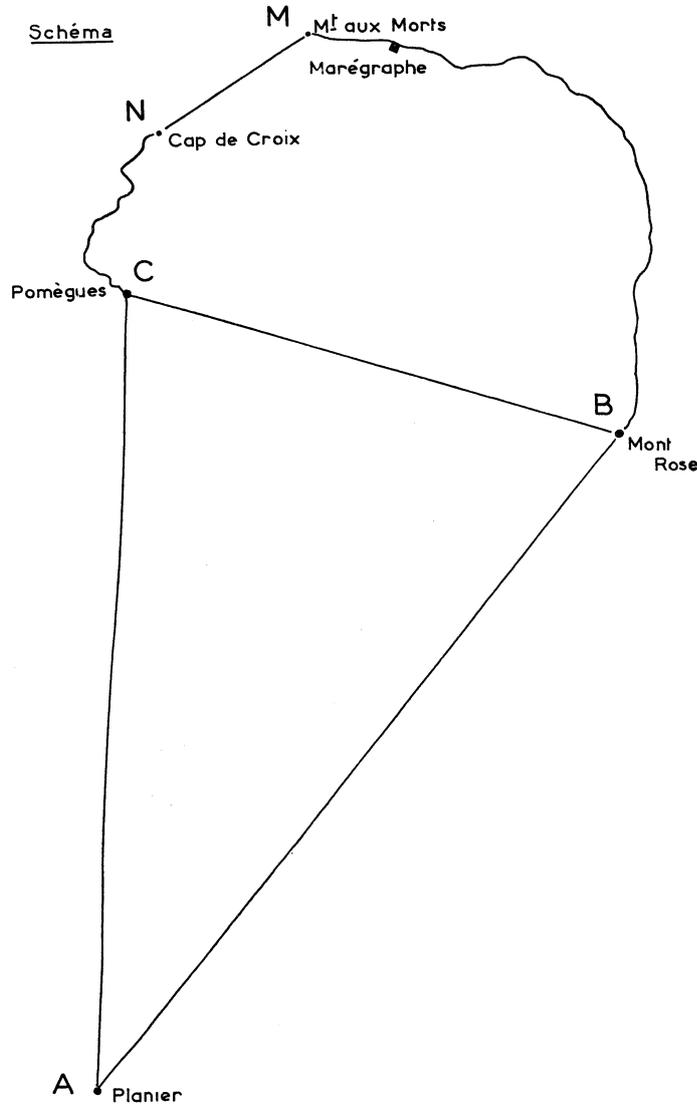


FIG. 3. — *Schéma des itinéraires.*

1^o) *Travaux préliminaires d'équipement.*

Construction de piliers supports d'appareils aux stations d'observation A.B.C. et N.
Confection et mise en place de mires :

1 sur la plateforme du phare du Planier (fig. 4); 2 au Mont Rose (fig. 5); 2 à Pomègues;
1 au cap de Croix; 1 près du Mont aux Morts d'Orient.

Chaque mire a été placée de façon à être visée de la station opposée au voisinage de l'horizontale.



FIG. 4. — Mire rectangulaire sur le phare du Planier.

(2 150 m) et BC (6 125 m) ont été effectuées au niveau Wild N_3 et au théodolite Wild T_3 (fig. 5).

Les 2 autres traversées AB et AC de 10 400 m ont été réalisées au théodolite T_3 seulement.

Rattachement des mires aux stations.

Pose des repères de nivellement.

Rattachements altimétriques des repères scellés sur l'îlot du Planier à la station sur la plateforme du phare.

Détermination géodésique des stations de Pomègues — Mont Rose — Planier et calcul des distances géodésiques correspondantes.

2°) Observations.

a) Cheminements. Les cheminements ont été exécutés suivant la méthode de haute précision aller et retour; cheminement M B sur le littoral: longueur: 8,1 km;

écart entre aller et retour: 5 mm; cheminement NC à Pomègues: longueur: 3,6 km

écart entre aller et retour: 1 mm.

b) Traversées. Les 2 traversées MN



FIG. 5. — Piliers et mire au Mont Rose

Pour chaque traversée, et pour les opérations au niveau comme pour celles au théodolite, les observations ont été *réci-proques et simultanées* la synchronisation a été assurée par l'emploi d'appareils radio émetteurs-récepteurs.

Les observations au théodolite ont été effectuées à la cadence d'un pointé à la minute, avec changement de position du cercle toutes les 2 minutes (soit CG, CD, CD, CG, CG, CD, etc...) afin que les 2 pointés constituant une mesure zénithale ne soient séparés que par un intervalle de temps d'une minute. Une permutation des 4 opérateurs et des 4 théodolites utilisés a été assurée sur les côtés AB et AC.

Enfin, la pression atmosphérique et la température de l'air ont été relevées à chaque station d'observation toutes les heures environ; la température de l'eau a été prise au début et à la fin de chaque séance.

III. — RÉSULTATS BRUTS (extraits des tableaux journaliers d'observation).

A) Cheminements :

d.n de Mont aux Morts à Mont Rose — M B = + 45,737 m
 d.n de cap de Croix à Pomègues — N C = + 44,854 m

B) Traversées :

traversée Mont aux Morts — cap de Croix — M N = 2 150 m
 340 mesures réciproques et simultanées au niveau — d.n. = — 0,263 m
 7 zénithales au théodolite (à titre d'essai) = 0,267 m
 traversée Mont Rose — Pomègues — B C = 6 125 m

| Nombre de mesures | Dates | Nb de jours | température moy. | | Pression moyenne | dn moyen (en m) | dispersion des mesures (en m) |
|--|-------------------------|-------------|-------------------|-------------------|------------------|-----------------|-------------------------------|
| | | | air | eau | | | |
| 1 ^o) en novembre - décembre 1959 | | | | | | | |
| 184 | 20 nov. au 4 déc. | 8 | 14 ^o 6 | 15 ^o 4 | 760 | — 1,135 | 0,09 |
| 2 ^o) en mai et juin 1960 | | | | | | | |
| 347 | 25 mai au 15 juin | 11 | 24 ^o | 19 ^o 5 | 758 | — 1,128 | 0,14 |

Différences des mesures 1959 et 1960 : 0,007.

Nota. Les conditions d'observation en 1959 étant d'une part particulièrement défavorables — vent et intempéries — et d'autre part (voir D) donnant des d_p importants de 0,22 m soit 22'', il n'a pas été tenu compte de ces observations qui cependant donnent une moyenne pondérée (— 1,135 m) très proche de celle de 1960 (— 1,128 m).

Traversée Mont Rose — Planier — BA = 10 400 m; mai et juin 1960 — 281 zénithales réciproques et simultanées

Traversée Pomègues — Planier — C.A. = 10 400 m; mai et juin 1960 — 147 zénithales réciproques et simultanées.

| Nombre de mesures | Dates | Nb de jours | température moy. | | Pression moyenne | dn moyen (en m) | dispersion des mesures (en m) |
|-------------------|------------------------|-------------|-------------------|-------------------|------------------|-----------------|-------------------------------|
| | | | air | eau | | | |
| 281 | 24 mai au 4 juin | 10 | 22 ⁰ 3 | 19 ⁰ 7 | 756,7 | + 5,956 | 0,094 |

| Nombre de mesures | Dates | Nb de jours | température moy. | | Pression moyenne | dn moyen (en m) | dispersion des mesures (en m) |
|-------------------|-------------------------|-------------|-------------------|-------------------|------------------|-----------------|-------------------------------|
| | | | air | eau | | | |
| 147 | 24 mai au 15 juin | 10 | 22 ⁰ 2 | 19 ⁰ 3 | 758 | + 7,050 | 0,155 |

C) *Fermeture des figures :*

Polygone M.B.C.N.M.

longueur 19 975 m

+ 45,737 m
— 1,128 m
— 44,854 m
+ 0,263 m

+ 0,018 m

Triangle BAC

longueur 26 925 m

+ 5,956 m
— 7,050 m
+ 1,128 m

+ 0,034 m

D) *Étude de la réfraction :*

Le nombre des mesures zénithales réciproques et simultanées à savoir :

Mont Rose — Pomègues — 230 (dont 39 en 1959 et 191 en 1960.

et $\left\{ \begin{array}{l} \text{Mont-Rose — Planier — 281} \\ \text{Pomègues — Planier — 147} \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} 428 \text{ en } 1960 \end{array} \right.$

peut paraître suffisant pour la détermination des dn. moyens respectifs. Mais il est évident que cette étude ne saurait prétendre à obtenir des résultats théoriques sur la réfraction.

Cependant, si l'on tient compte de ce que l'état hygrométrique au-dessus des mers constitue un élément stabilisateur et régulateur par excellence, que les températures de l'air se situent en 1959 entre 12° et 17°, et en mai et juin 1960 entre 23° et 27°, il est intéressant de

donner les résultats obtenus en fonction des dn. moyens quand on dissocie les valeurs ρ_1 et ρ_2 de la réfraction correspondant aux Z_1 et Z_2 opposés.

Il est bon de noter que les mesures directes du « niveau apparent » sur l'horizon marin, tentées en 1959 se sont montrées délicates, longues et insuffisantes; elles n'ont pas été poursuivies.

Valeurs de la réfraction — $\rho_1 = K \cotg Z_1 - dn + S$

Pomègues — Mont Rose — sphéricité $S = 2,917$ m pour 6,116 km.

| Période | Nb de mesures | d.n (en m) | ρ_1 (en m) | ρ_2 (en m) | d ρ pondéré moyen | t ^o moyen. |
|---|---------------|------------|---------------------|---------------------|------------------------|-----------------------|
| nov.-déc. 1959 | 39 | 1,121 | 0,288 à 0,422 | 0,530 à 0,636 | 0,22 m soit 23" | 14 ⁰⁶ |
| mai-juin 1960 | 191 | 1,116 | 0,379 à 0,792 | 0,410 à 0,737 | 0,085 m soit 9" | 24 ⁰ |
| Mont Rose — Planier — sphéricité $S = 8,356$ pour 10,350 km | | | | | | |
| mai-juin 1960 | 281 | 5,956 | 1,165 à 2,254 | 1,232 à 2,375 | 0,038 m soit 2"3 | 22 ⁰³ |
| Pomègues — Planier — $S = 8,356$ m | | | | | | |
| mai-juin 1960 | 147 | 7,050 | 1,078 à 2,008 | 1,068 à 1,917 | 0,045 m soit 2"8 | 22 ⁰² |

On a retenu de ces résultats :

1^o) La confirmation de l'hypothèse Biot-Bouguer de l'égalité des réfractions opposées pendant la période d'été 1960, particulièrement sur :

Mont-Rose — Planier — d $\rho = 2"3$ et Pomègues — Planier — d $\rho = 2"8$

ce qui indique un excellent équilibre atmosphérique pendant les observations vers la haute mer — heures d'observation, de 11 h à 17 h en moyenne.

La différence plus importante du d ρ , 9" sur le côté Pomègues — Mont Rose pendant la même période, peut être motivée par la présence auprès du pilier de Mont Rose, dans la direction rasante de Pomègues, d'un bloc rocheux perturbateur.

2^o) L'importance, en 1959, des différences de réfractions opposées — 23" a conduit à la suppression des 39 mesures correspondantes.

3^o) La constatation que malgré les différences entre 1959 et 1960 correspondant à des solstices opposés, avec des différences de température de 10°, les valeurs des dn Mont Rose — Pomègues en 1959 et 1960 sont très voisines (1,121 m en 1959 et 1,116 m en 1960 soit un écart de 5mm). Cette remarque est d'autant plus intéressante qu'elle justifie les observations de 1960 limitées pratiquement à 10 jours d'observation entre le 25 mai et le 15 juin.

4^o) Le coefficient géodésique de réfraction n déterminé pour 1960 $n = \rho \frac{R}{K}$ donne les valeurs suivantes :

| | | |
|------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| Pomègues — Planier 0,0685 | Mont Rose — Planier 0,0646 | Mont Rose — Pomègues 0,0730 |
| 0,0665 | | |
| 0,068 | | |

valeur générale moyenne qui s'inscrit dans les résultats habituels des observations effectuées en France *en pleine journée* de 11 h à 16 h et qui varient de 0,05 à 0,08.

Il aurait été judicieux de poursuivre en hiver les observations de 1960 sur le Planier et de compléter le tableau des 10 journées d'été par 10 journées opposées de 6 mois. Mais il est probable que les résultats ne varieraient pas de plus de ± 1 centimètre ce qui ne modifierait pas sensiblement la moyenne générale.

Ainsi la fermeture B C (Mt Rose — Pomègues) exécutée pour des raisons uniques de contrôle et non d'observations directes sur le Planier, s'est révélée très utile quant aux incidences pratiques immédiates et aux conclusions.

IV. — CALCUL DES ALTITUDES.

Au préalable, pour le calcul des distances K , les coordonnées des stations d'observations ont été déterminées par relèvement sur le réseau géodésique de détail :

| | | |
|----------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| <i>Station A — Planier</i> | <i>Station B — Mont Rose</i> | <i>Station C — Pomègues</i> |
| $X = 835.174,9$ | $X = 844.789,0$ | $X = 840.951,0$ |
| $Y = 104.014,0$ | $Y = 107.834,4$ | $Y = 112.596,5$ |

A) *Altitude de la station B — Mont Rose :*

| | |
|----------------------|------------------|
| altitude station M | 11,702 m |
| d.n. M B | + 45,737 m |
| altitude station B = | 57,439 m (rivet) |

B) *Altitude de la station C — Pomègues :*

a) provenant de la station M, puis traversée MN et cheminement NC :

| | |
|--------------------|------------|
| altitude station M | 11,702 m |
| dn. MN | — 0,263 m |
| dn. NC | + 44,854 m |
| Station C | 56,293 m |

b) provenant de la station du Mont Rose par la traversée Mont Rose — Pomègues :

| | |
|-----------------------------|------------------|
| altitude station Mont Rose | 57,439 m |
| dn. traversée BC | — 1,128 m |
| Station C | 56,311 m |
| Altitude pondérée adoptée : | 56,302 m (rivet) |

C) *Altitude de la station du Planier :*

| | | | |
|---------------------|-----------|--------------------|-----------|
| Station Mont Rose : | 57,439 m | Station Pomègues : | 56,302 m |
| dn. B A | + 5,956 m | dn. C A | + 7,050 m |
| | | | |
| Station Planier : | 63,395 m | Station Planier : | 63,352 m |

écart : 43 mm; altitude moyenne : 63,381 m (rivet sur plateforme) en donnant un poids double à l'altitude provenant directement de Mont Rose.

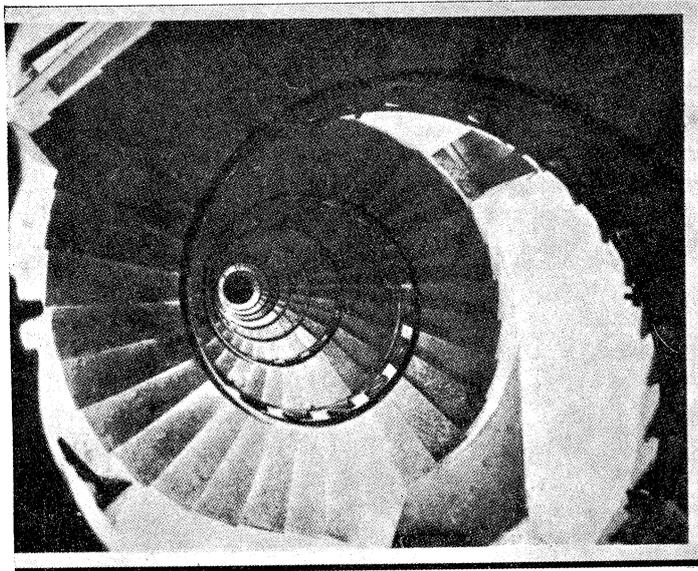


FIGURE 6.

D) *Rattachements altimétriques des repères scellés sur l'îlot du Planier:*

La descente au sol de l'altitude de la station a été réalisée au moyen d'un cheminement de précision vertical exécuté aller et retour dans l'escalier du phare (fig. 6). Pour cette opération

| Points de fractionnement | d.n. aller (en m) | d.n. retour (en m) |
|--------------------------------------|----------------------|-----------------------|
| Station sur plateforme | | |
| point fixé n° 1 | — 4,5525 | — 4,5520 |
| » » n° 2 | — 6,0254 | — 6,0269 |
| » » n° 3 | — 7,7096 | — 7,7125 |
| » » n° 4 | — 11,5207 | — 11,5218 |
| » » n° 5 | — 11,5175 | — 11,5178 |
| » » n° 6 | — 11,5132 | — 11,5124 |
| repère au bas de la tour . | — 4,5891 | — 4,5894 |
| | — 57,4280 | — 57,4328 |
| écart 4,8 mm d.n. moyenne = 57,430 m | | |

on a utilisé un niveau Ertel à mise en station automatique, et des mires IGN à lames en invar. Pour permettre la comparaison détaillée des aller et retour, le cheminement a été fractionné en 7 tronçons; les résultats de ces mesures sont donnés dans le tableau ci-dessus.

La précision de ce cheminement étant supérieure à celle du rattachement proprement dit, il n'a pas été jugé utile de procéder à d'autres mesures.

Altitudes des repères

| | |
|--|---------------------------------|
| Rivet sur la plateforme du phare | 63,381 m (ston A)dn. — 57,430 m |
| Repère à l'intérieur de la tour du phare, au bas de l'escalier: | 5,951 m |
| Repère sur le bâtiment des machines | 5,304 m |
| Repère sur abri de self au voisinage de l'emplacement choisi pour l'installation du marégraphe (fig. 7) | 1,902 m |
| Rivet sur seuil de la tour du phare | 5,358 m |
| Rivet sur terrasse du bâtiment d'habitation (aile est) | 6,126 m |

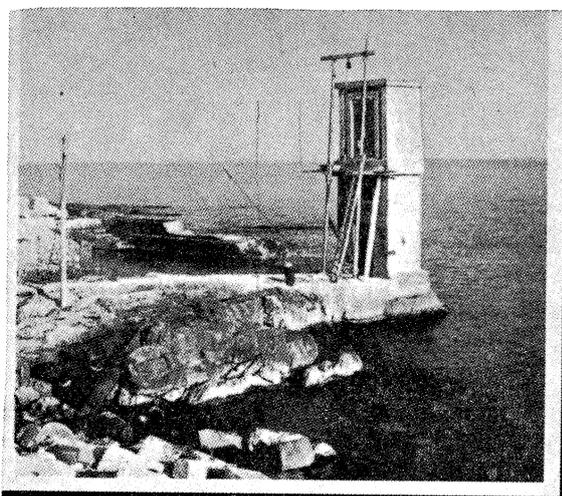


FIGURE 7.

V. — COTES GÉOPOTENTIELLES.

A) *Mesures gravimétriques.*

Des mesures de g ont été faites aux 5 stations d'observations, au marégraphe et aux 3 points bas du port du Frioul, du pied du Mont Rose et du pied du phare du Planier.

Ces mesures ont été rattachées à une station de base effectuées au Vieux-Port (bureau du Service maritime des Ponts et Chaussées), elle-même rattachée aux stations de l'aérogare d'Arbois et de l'aéroport de Marignane.

Résultats des mesures de g

| | <i>valeurs de g</i> |
|---|----------------------------------|
| au marégraphe (repère routier M. abc) 11,449 m | — 980.499.8 |
| au pied du Mont rose (repère M. ab. 15) 9,942 m | — 980.498.7 |
| à la station du Mont rose (M. ab. 4) 57,439 m | — 980.488.5 |
| Phare du Planier (Station sur plateforme) 63,38 m | — 980.486.5 |
| Phare du Planier (sol) 6,126 m | — 980.505.5 |
| Station de Pomègues (Mc.b ₃ — G) 56,302 m | — 980.491.5 |
| Port du Frioul (repère Mc.b ₃ — 30) 4,745 m | — 980.502.8 |
| Cap de Croix (repère Mc. b ₃ — 28) 20,607 m | — 980.499.0 |
| Station près Mont aux Morts (rivet M.bc — 50-1) 11,702 m | — 980.500.6 |

B) *Cotes géopotentielles.*

La cote de la station de Pomègues a été calculée comme l'altitude par les 2 itinéraires, et l'on a adopté une valeur moyenne. Celle de la station du Planier est la moyenne des 2 valeurs provenant du Mont Rose et de Pomègues.

| Stations | $g \times dh$ | cotes géopotentielles C |
|---|---------------|-------------------------|
| Repère M. abc (près du marégraphe o) | | 11,2241 |
| Repère M. ab — 15 (au pied du Mont Rose) | — 1,4757 | 9,7484 |
| Station du Mont-Rose (point M. ab-4) | + 46,5709 | 56,3193 |
| Station de Pomègues (point Mc.b ₃ -G) | — 1,1050 | 55,2143 ⁽¹⁾ |
| Repère M. abc (o) | | 11,2241 |
| Rivet M.bc. 50-1 (station près du Mont aux Morts).. | + 0,2460 | 11,4701 |
| Repère Mc.b ₃ — 28 au cap de croix | + 8,7264 | 20,1965 |
| Repère Mc.b ₃ — 30 au port du Frioul | — 15,5555 | 4,6410 |
| Station de Pomègues (point Mc.b ₃ — G) | + 50,5504 | 55,1914 ⁽²⁾ |
| Cote géopotentielle pondérée moyenne adoptée pour Pomègues (1 et 2) | | 55,2067 |
| Station de Pomègues | + 6,9124 | 55,2067 |
| Station de Planier | | 62,1191 ⁽³⁾ |
| Station du Mont Rose | | 56,3193 |
| Station du Planier | + 5,8398 | 62,1591 ⁽⁴⁾ |
| Cote moyenne pondérée Planier (3 et 4) | | 62,1458 |

VI. — CONCLUSION.

Calcul des cotes géopotentielles. Ce calcul confirme par ses fermetures le calcul des altitudes : les 7 éléments en $gm \Delta h$ ont été choisis en fonction des Δh importants. Quant aux sections maritimes de 6 et 10 km, elles n'apportent aucun trouble à l'ensemble des mesures.

Déviations de la verticale. Les résultats finaux n'indiquent point a priori qu'il existe de variations de la « déviation de la verticale » entre les 3 stations de Planier — Pomègues — Mont Rose.

On a néanmoins procédé à des mesures zénithales sur les horizons marins de part et d'autre des plans de visée Planier — Mont Rose — Pomègues et en ces 3 stations. Ces mesures n'ont point mis en évidence des dz supérieures aux variations de la réfraction durant les observations.

Signalons en outre que les valeurs réduites de g en ces 3 stations donnent des g_0 respectifs de 980 (500 — 503 et 499), ce qui n'indique pas d'anomalies de g .

Il n'apparaît pas que des mesures de déviation de la verticale s'imposent par comparaison des arcs déduits de déterminations astronomiques de précision et géodésiques de 1^{er} ordre.

Résultats. La valeur obtenue pour le rattachement altimétrique de l'îlot du Planier est le résultat moyen de près de 500 mesures simultanées réparties sur 10 jours d'observation possible entre le 24 mai et le 15 juin 1960, aux heures de 11 à 17 h, et dont 281 appartiennent aux visées réciproques Mont Rose — Planier.

L'erreur accidentelle quadratique correspondant aux écarts de la moyenne des observations journalières donne :
23 mm pour Planier — Mont Rose
24 mm pour Planier — Pomègues

Quant à la fermeture en altitude des 2 valeurs obtenues pour le Planier, issues de Mont Rose et de Pomègues, elle est de 40 mm.

On peut donc estimer que la précision des résultats de la mesure quant à l'altitude finale, est de ± 2 centimètres.

Ce résultat est susceptible de pouvoir indiquer dans l'avenir, si elle est sensible, une différence entre les niveaux moyens marégraphiques à Marseille et Planier. Il semble que le marégraphe du Planier pourra donner d'ici 4 à 5 ans une indication valable du niveau moyen.

Quant aux variations de ce niveau, on ne peut que se féliciter de posséder une station océanique française qui tôt ou tard est destinée à devenir une station pilote méditerranéenne.

L'initiative de la Direction du port de Marseille est particulièrement heureuse.

NOTA. — Les photos 1, 2, 5, 6 et 7 sont tirées de l'album de l'îlot du Planier par M. Pierre JUNIET, qui a bien voulu autoriser leur reproduction.