

Académie royale
des
Sciences coloniales

CLASSE
DES SCIENCES TECHNIQUES

Mémoires in-8°. Nouvelle série.
Tome VII, fasc. 4 et dernier.

Koninklijke Academie
voor
Koloniale Wetenschappen

KLASSE
DER TECHNISCHE WETENSCHAPPEN

Verhandelingen in-8°. Nieuwe reeks.
Boek VII, aflev. 4 en laatste.

INSTRUCTION TECHNIQUE

sur le nivellement barométrique

au Congo belge

PAR

L. JONES

INGÉNIEUR A.I.A.
GÉOGRAPHE DE L'INSTITUT GÉOGRAPHIQUE MILITAIRE.



Rue de Livourne, 80A
BRUXELLES

Livornostraat, 80A
BRUSSEL

1958

PRIX : F 150
PRIJS :



ACADÉMIE ROYALE DES SCIENCES COLONIALES

MÉMOIRES

KONINKLIJKE ACADEMIE VOOR KOLONIALE
WETENSCHAPPEN

VERHANDELINGEN

CLASSE DES SCIENCES TECHNIQUES
KLASSE DER TECHNISCHE WETENSCHAPPEN

TABLE DES MÉMOIRES
DU TOME VII

LIJST DER VERHANDELINGEN VAN BOEK VII

1. Les recherches géophysiques et géologiques et les travaux de sondage dans la Cuvette congolaise (64 pages, 7 cartes, 1957) ; par P. EVRARD.
 2. État des données techniques relatives au projet d'équipement hydro-électrique du fleuve Congo à Inga (30 pages, 6 figures, 1957) ; par P. GEULETTE.
 3. Annuaire hydrologique du Congo belge et du Ruanda-Urundi 1956 (481 pages, 337 tableaux, 1957) ; par E.-J. DEVROEY.
 4. Instruction technique sur le nivellement barométrique au Congo belge (75 pages, 20 figures, 1958) ; par L. JONES.
-

ACADÉMIE ROYALE DES SCIENCES COLONIALES

Classe des Sciences techniques

MÉMOIRES

KONINKLIJKE ACADEMIE VOOR KOLONIALE
WETENSCHAPPEN

Klasse der Technische Wetenschappen

VERHANDELINGEN

Nouvelle série -- Nieuwe reeks

In-8° — VII — 1958

Rue de Livourne, 80A
BRUXELLES

Livornostraat, 80A
BRUSSEL

1958

IMPRIMERIE J. DUCULOT

S. A.

GEMBLoux

INSTRUCTION TECHNIQUE
sur le nivellement barométrique
au Congo belge

PAR

L. JONES

INGÉNIEUR A.I.A.
GÉOGRAPHE DE L'INSTITUT GÉOGRAPHIQUE MILITAIRE.

Mémoire présenté à la séance du 30 novembre 1956.
Rapporteur : M. P. ÉVRARD.

Instruction technique sur le nivellement barométrique au Congo belge.

INTRODUCTION

1. Il y a un an paraissait, dans les Mémoires de l'Académie royale des Sciences coloniales, une très belle étude de N. VANDER ELST intitulée : *La pression au Congo belge* [1] ⁽¹⁾ ; l'auteur en consacrait la 2^e partie à l'application de la barométrie à l'altimétrie, en adoptant le double point de vue du météorologiste et du géodésien.

Notre propos a été de présenter, dans les pages qui suivent, le nivellement barométrique comme une opération de *topographie* ; ce qu'elle est, en réalité, pour le topographe, le géologue, le prospecteur travaillant dans une région dépourvue d'altimétrie « régulière ».

2. La littérature relative au nivellement barométrique n'est pas abondante. Les traités et les cours de topographie n'y consacrent qu'un chapitre, généralement très succinct. Plus détaillées sont les études parues dans diverses revues scientifiques, mais leur objet est limité chaque fois à un aspect particulier du problème. Il nous a semblé qu'il y avait là une lacune méritant d'être comblée. C'est ce que nous avons tenté de faire en rédigeant ce travail.

3. Celui-ci est le fruit d'une expérience qui nous paraît peu commune. De 1952 à 1956, nous avons eu l'honneur

¹⁾ Les chiffres entre [] renvoient à la bibliographie, p. 66.

de diriger deux missions de gravimétrie au Congo belge. Ces missions ont appliqué journallement le nivellement barométrique, dans deux sites totalement différents [2].

La mission gravimétrie-magnétisme du Syndicat pour l'Étude géologique et minière de la Cuvette congolaise a déterminé les altitudes de quelque 6.550 stations se répartissant sur 62 degrés carrés (750.000 km²) d'une région peu élevée et faiblement accidentée, située entre les méridiens 17° et 27° EG et les parallèles 2°N et 6°S.

Par contre, la mission gravimétrique dans le Graben de l'Afrique Centrale, réalisée pour le compte de l'IRSAC et du CSK, a travaillé dans une région montagneuse, appliquant le nivellement barométrique à quelque 300 stations qui, d'une part, s'échelonnent d'Irumu à Pweto et, d'autre part, se répartissent dans le polygone Pweto — Bukama — Kamina — Kabalo — Albertville ; enfin, des antennes se dirigent vers la Cuvette, sur Stanleyville, Kindu, Kasongo et Luluabourg.

Les conditions de ces levés furent variées. Dans la Cuvette, les stations étaient rapprochées dans l'espace (env. 5 km) et dans le temps (env. 15 minutes) alors que dans le Graben elles étaient plus éloignées (env. 30 à 50 km et 1 à 2 heures). Les instruments utilisés étaient de marques différentes et trois opérateurs différents prirent part aux mesures (MM. MATHIEU, STRENGER et JONES). Chaque fois que ce fut possible, les levés barométriques ont « recoupé » des points de triangulation dont l'altitude est connue par le nivellement trigonométrique.

4. La méthode que nous avons fait appliquer par les missions ci-dessus était l'aboutissement d'une étude que nous avons entamée à l'Institut Géographique Militaire ⁽¹⁾ en 1948 et poursuivie jusqu'en 1952. C'est avec

⁽¹⁾ Feu le Major A. GILLIARD, Directeur Général de l'I. G. M., nous avait chargé de cette étude, dans le cadre des activités du Service du Nivellement.

reconnaissance que nous mentionnons ici la *Note sur l'emploi du nivellement barométrique...* de M. J. HURAUULT [3] : cet ouvrage, d'une clarté et d'une concision remarquables, fut notre point de départ, mais aussi notre point de ralliement, en quelque sorte, lors de l'examen des discordances apparentes dans les mesures de la Cuvette et du Graben.

L'« Instruction technique » que nous avons finalement rédigée, si elle se distingue nettement de la méthode conçue initialement, est néanmoins loin d'être parfaite. Nous l'avouons : il reste encore certaines questions sans réponse, et qui sont à l'étude. Leur solution permettrait d'améliorer la précision actuellement atteinte qui est caractérisée par une erreur totale à craindre de ± 8 m dans le centre du Congo (e.m.q. ⁽¹⁾ = 3 m) et de ± 10 à 13 m dans le Graben (e.m.q. = 4 à 5 m). Nous avons pensé qu'il était préférable de ne pas attendre plus longtemps pour présenter cette Instruction : utilisée par un plus grand nombre d'opérateurs, elle subira l'épreuve d'une pratique plus généralisée ; elle sera critiquée ; elle pourra donc être améliorée. C'est notre plus cher souhait.

5. *Vue d'ensemble sur la présente Instruction.*

Une Instruction technique se doit d'avoir un caractère pratique. Tel a été notre but.

Toutefois, pour bien appliquer une méthode de topographie, il faut en avoir assimilé la théorie. Cela est tout particulièrement vrai en nivellement barométrique, dont la théorie est, il faut le reconnaître, trop souvent ignorée des utilisateurs. Aussi, le corps de notre Instruction est-il constitué par l'exposé de la pratique, la théorie ayant été rejetée en annexe.

Un premier chapitre rappelle les principes du nivellement barométrique.

(1) e. m. q. = erreur moyenne quadratique.

Le Chapitre II traite la question des instruments et leur emploi.

Le Chapitre III développe des cas d'application du nivellement barométrique. Ces cas ont été tirés de nivellements réellement effectués.

CHAPITRE I

PRINCIPES DU NIVELLEMENT BAROMÉTRIQUE

La méthode du nivellement barométrique envisagée dans cette Instruction est une méthode de nivellement relatif : son application a pour résultat la connaissance de différences de niveau et non pas la connaissance d'altitudes absolues.

1. La formule de Laplace.

Cette formule est à la base du nivellement barométrique, *quels que soient les instruments de mesure employés.*

Soit deux stations 1 et 2 (fig. 1). L'altitude Z_1 est

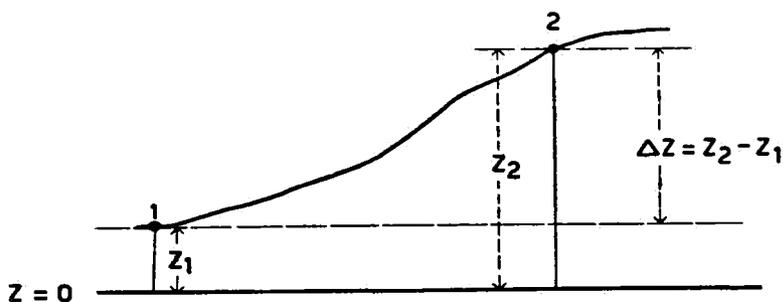


FIG. 1. — Principe du nivellement relatif.

supposée connue ; on cherche l'altitude Z_2 . A cette fin on calcule la différence d'altitude ΔZ par la formule (simplifiée) :

$$\Delta Z = Z_2 - Z_1 =$$

$$18.400 (\log p_1 - \log p_2) (1 + \alpha t) \left(1 + 0,377 \frac{e}{p}\right) \quad (1)$$

où :

p_1, p_2 sont les pressions atmosphériques, mesurées en 1 et
en 2 ;

t est la moyenne des températures de l'air, mesurées en 1
et en 2 :

$$t = \frac{t_1 + t_2}{2}$$

$$\alpha = \frac{1}{273} ;$$

p est la pression moyenne $\frac{p_1 + p_2}{2}$;

e est la moyenne des tensions actuelles de vapeur
d'eau, mesurées en 1 et 2 :

$$e = \frac{e_1 + e_2}{2}.$$

Remarque: La théorie de la formule de LAPLACE est
exposée en *Annexe 1*.

2. Les deux méthodes de nivellement barométrique.

2.1. NIVELLEMENT BAROMÉTRIQUE PAR OBSERVATIONS SIMULTANÉES.

Chaque station (1, 2) est équipée pour mesurer :

la pression atmosphérique p ;

la température de l'air t ;

la tension de vapeur d'eau e ;

l'heure H.

Les observations se faisant au même instant, la formule de LAPLACE (1) permet de calculer la différence d'altitude ΔZ .

Un couple d'observations en 1, 2 donne *une* valeur de ΔZ . La moyenne de plusieurs couples d'observations améliore cette valeur.

Cette méthode répond le mieux à l'esprit de la formule de LAPLACE, pour autant que les deux stations (1, 2) ne soient pas distantes de plus de K km l'une de l'autre (voir 2.2.2. ci-après).

2.2. NIVELLEMENT BAROMÉTRIQUE PAR OBSERVATIONS « ITINÉRANTES ».

C'est le cas le plus fréquent du nivellement barométrique, car le rendement quantitatif de cette méthode est incomparablement supérieur à celui de la méthode des observations simultanées.

2.2.1. Un même observateur se déplace, de station en station ; en chacune d'elles, il mesure p , t , e et H. Ces groupes de mesures sont donc échelonnés dans le temps, mais on peut se ramener au cas précédent (2.1.) en tenant compte de la variation des éléments mesurés au cours du déplacement entre stations. Considérons, par exemple, le couple de stations (1, 2) : en toute rigueur, on devra corriger les mesures de pression p , de température t , de tension de vapeur d'eau e faites en 2, de la quantité dont chacun de ces éléments a varié depuis l'heure H_1 d'observation en 1 jusqu'à l'heure H_2 d'observation en 2.

2.2.2. De telles corrections pour la variation de la température t et de la tension de vapeur d'eau e compliqueraient singulièrement la méthode. D'ailleurs, lorsque les stations sont rapprochées dans le temps (ordre de grandeur de l'heure), le fait de négliger ces corrections influe peu sur la précision.

Il n'en est pas de même de la pression p pour laquelle il y a obligation de corriger de la marée barométrique journalière. Celle-ci présente, au Congo belge, une caractéristique avantageuse : enregistrée en un point, la marée barométrique journalière est la même autour de ce point jusqu'à une certaine distance limite K km.

Il suffira donc que les observations itinérantes de nivellement barométrique s'adressent à des stations situées en deçà de la limite K km d'un poste-base où la marée barométrique est enregistrée.

2.2.3. Pour la partie du Congo où l'on travaille, il y a lieu de déterminer par expérience la valeur de K . L'expérience des levés barométriques dans la Cuvette congolaise (1952-1955) a conduit à adopter K de l'ordre de 50 km pour la région comprise entre les méridiens 17° et 27° EG et les parallèles 2° N et 6° S. Si l'on est amené à dépasser la limite K (par exemple 100-150 km) la précision des résultats pourra être fortement diminuée. Si on ne dispose pas de moyens (matériel ; personnel) pour installer un poste-base, on choisira celui-ci, ou ceux-ci, parmi les stations du Service météorologique *les plus proches* de la zone de travail (voir annexe 3).

3. Les conditions d'application de la formule de Laplace.

(voir *annexe 2*).

3.1. RAPPEL.

$$\Delta Z = Z_2 - Z_1 = \underbrace{18.400 (\log p_1 - \log p_2)}_{(a)} \cdot \underbrace{(1 + at)}_{(b)} \cdot \underbrace{\left(1 + 0,377 \frac{e}{p}\right)}_{(c)}$$

Terme principal (p_2 mesuré à l'instant de la mesure p_1 , ou corrigé de la marée barométrique).

Correction de température.

Correction d'humidité.

3.2. Le terme principal $18.400 (\log p_1 - \log p_2)$ est obtenu, par calcul, à partir des mesures de pression à un baromètre à mercure ou anéroïde.

Mais il peut être obtenu directement par simples lectures à un altimètre à la réserve près qu'il soit tenu compte de la façon dont a été étalonnée son échelle altimétrique.

L'emploi d'un altimètre ne dispense aucunement d'apporter les corrections de marée barométrique, de température et d'humidité.

3.3. CORRECTION DE TEMPÉRATURE.

On ne peut pas limiter au terme principal l'application de la formule de LAPLACE.

Remarquons que, pour une température moyenne $t = 27^\circ$, on a

$$1 + at = 1 + \frac{27}{273} \cong 1 + \frac{1}{10}$$

soit une correction de température de l'ordre de 10 % de la différence d'altitude.

Par contre, en pratique, on ne corrige pas la température t_2 en 2 d'une « marée thermométrique ».

3.4. CORRECTION D'HUMIDITÉ.

Si l'on désire tirer d'un nivellement barométrique le plus de précision possible, et si les différences d'altitudes ($Z_2 - Z_1$) sont supérieures à 50-100 m, on devra tenir compte du terme d'humidité, dont l'importance est de 1 à 2 % de la différence d'altitude.

Par contre, en pratique, on ne tient pas compte d'une « marée hygrométrique ».

4. Modes de levé par nivellement barométrique.

Nous entendons par mode de levé, la façon d'utiliser les méthodes de nivellement barométrique (voir 2 ci-dessus) dans le but de déterminer au mieux les altitudes d'un nombre plus ou moins grand de points d'une région.

Il ne peut être question d'envisager tous les cas possibles qui dépendent notamment :

Du but poursuivi ;

Des délais d'exécution ;

Des moyens disponibles en personnel et en matériel.

Aussi nous limiterons-nous à exposer quelques cas « de principe » desquels l'utilisateur pourra s'inspirer pour résoudre son problème particulier.

4.1. 1^{er} CAS.

Situation :

La région à lever est très étendue (des centaines de kilomètres-carrés) ;

Le nombre de points dont l'altitude est à déterminer est très grand ;

Les délais d'exécution sont longs ;

On dispose de moyens suffisants en personnel et en matériel.

Mode de levé.

a. Réseau de base.

Constitué par des stations, réparties de telle sorte que les zones à lever en détail soient toutes comprises dans les zones d'action (K km) des postes-bases qui seront installés en ces stations.

Les différences d'altitudes ΔZ entre ces stations sont déterminées par la méthode des observations simultanées (2.1.).

Le nombre de « liaisons » entre stations du réseau de base est limité par les délais d'exécution imposés. Chaque « liaison » représente la moyenne des résultats d'un groupe de mesures. La *fig. 2* schématise un ensemble minimum de liaisons ; cet ensemble pourrait être amélioré par des liaisons en diagonale.

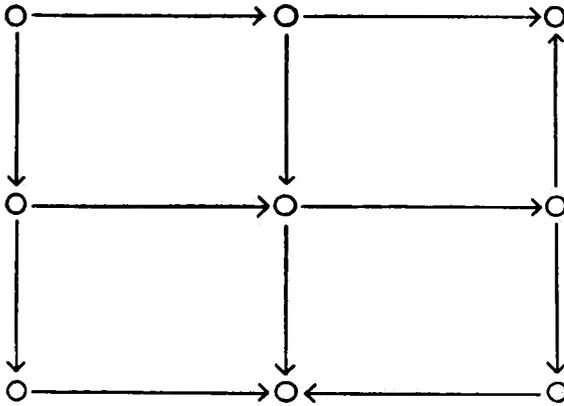


FIG. 2. — Mode de levé ; 1^{er} cas : réseau de base.

Une compensation d'ensemble des valeurs ΔZ trouvées feront du réseau de base un ensemble géométriquement fermé. En nivellement barométrique, l'application des moindres carrés ne présuppose pas qu'il s'agisse réellement d'erreurs de caractère accidentel. Il y a là un problème à étudier.

Les altitudes seront déterminées en partant de l'altitude d'une des stations (station origine), soit connue, soit fixée approximativement.

A ce sujet, on se souviendra de l'intérêt qu'il y a de choisir la station-origine en un point de triangulation dont l'altitude est connue par nivellement géométrique ou trigonométrique ; à son défaut, un des postes du Service météorologique pourra convenir, l'altitude de ceux-ci étant connue actuellement (1956) de façon approchée.

b. Réseau de détail.

Constitué par l'ensemble des points dont on doit connaître l'altitude.

Ces points seront groupés en *circuits* appuyés sur les sommets du réseau de base (éventuellement sur des points de triangulation ou du réseau de nivellement).

Les différences d'altitudes ΔZ seront déterminées par la méthode des observations « itinérantes » (2.2.) à partir de postes-bases installés en des sommets du réseau de base. La *fig. 3* schématise un cas d'application. Un programme des levés devra être soigneusement élaboré avant d'entamer les opérations de mesures.

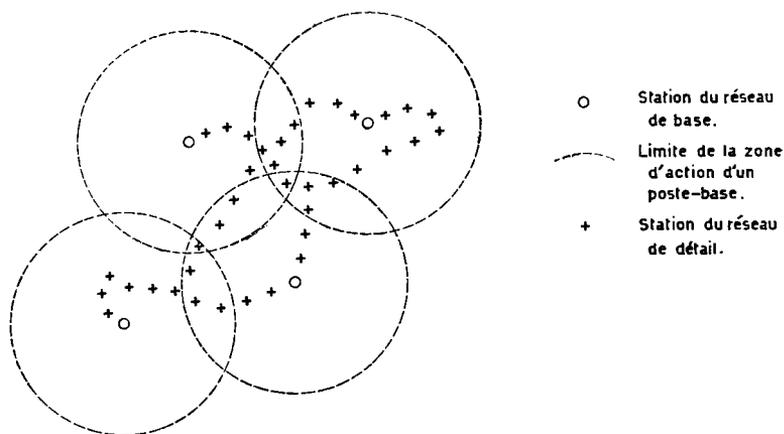


FIG. 3. — Mode de levé, 1^{er} cas : réseau de détail.

La compensation d'un circuit simple appuyé à ses deux extrémités pourra se faire par la répartition de l'erreur de fermeture proportionnellement au temps. En cas de réseau formé de figures fermées, on adoptera, faute de mieux actuellement, les procédés de compensation utilisés en nivellement géométrique.

4.2. 2^{me} CAS.

Situation :

La région à lever est très étendue (des centaines de kilomètres-carrés) ; le nombre de points dont l'altitude est à déterminer est très grand.

Mais : les délais d'exécution sont réduits ; on dispose de peu de moyens en personnel et en matériel.

Par exemple : un seul opérateur ; un baromètre à mercure ; deux barographes ; 1 altimètre ; 1 thermomètre.

Mode de levé.

a. La méthode par observations « itinérantes » est seule employée. Mais son application comporte deux phases : celle de la mise en place des postes-bases, suivie de celle de l'exécution des mesures.

Par exemple (*fig. 4*) : L'opérateur est en A, point de départ. Il y met le barographe 1 en marche ; il se porte en B (à K km de A) pour y mettre en marche le barographe 2, et revient en A pour entamer son levé AB. Ce voyage est mis à profit pour déterminer une valeur de contrôle de la différence d'altitude ΔZ entre A et B : c'est la seule raison de la mise en marche du barographe

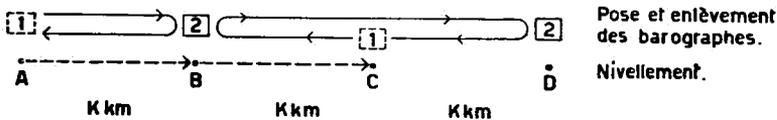


FIG. 4. — Mode de levé ; 2^e cas.

en A qui sera emporté par l'opérateur dès l'instant où celui-ci entame son nivellement, barométrique de A vers B, et le pousse jusqu'en C (à K km de B). Il va de soi que le nivellement barométrique A, B, C peut comprendre

tous les circuits qui se trouvent dans la zone d'action du poste-base B.

A partir de C, l'opérateur installe le barographe 1 en C, va relever le barographe 2 de B pour le porter en D. Ce voyage est mis à profit pour déterminer une valeur de contrôle des différences d'altitudes ΔZ entre CB et CD. Et ainsi de suite.

b. Il faut chercher à réaliser un ensemble de circuits formant des figures fermées contiguës : on augmente ainsi la « sécurité » du réseau ; dans ce cas, il faudra procéder à une compensation d'ensemble.

Remarque : Rappelons l'utilité d'élaborer au préalable le programme des levés.

4.3. 3^{me} CAS.

Situation :

Il s'agit de niveler *une ligne*, plus ou moins longue. Les moyens sont, par exemple :

- 1 opérateur, 1 aide-opérateur ;
- 2 altimètres, 2 thermomètres.

Mode de levé :

L'aide-opérateur reste, chaque jour, au point de départ de l'opérateur. Celui-ci convient de cesser ses opérations à l'heure H et fixe un point de rendez-vous en fin de journée.

L'aide-opérateur fait des observations à l'altimètre et au thermomètre tous les $1/4$ d'heure. L'opérateur procède à ses observations itinérantes sans s'éloigner de plus de K km. de son point de départ. A l'heure H l'aide-opérateur rejoint le point de rendez-vous.

Les observations peuvent être exploitées par l'une ou l'autre des deux méthodes de nivellement barométrique.

4.4. 4^{me} CAS.

Situation :

Il s'agit de déterminer l'altitude d'un ou deux points par rapport à un point origine. La distance entre celui-ci et les points à lever nécessite un long transport (au moins plusieurs heures), et la (les) différence(s) d'altitudes présumées sont grandes (plusieurs centaines de mètres).

Mode de levé :

Si les délais sont longs et si on en a les moyens, la préférence sera donnée à la méthode des observations simultanées.

Si les délais sont réduits, on pourrait appliquer le 3^{me} cas ci-dessus, en levant des points intermédiaires, assez rapprochés dans le temps et ne présentant pas entre eux de fortes différences d'altitude.

CHAPITRE II

LES INSTRUMENTS

1. But de ce chapitre.

Pour tout instrument, le constructeur fournit une notice explicative. Il ne sera donc pas fait mention de ce que l'on trouve habituellement dans de telles notices : description, mode d'emploi, caractéristiques, etc. Le but de ce chapitre est de mettre en relief des remarques pratiques sur l'emploi des instruments utilisés en nivellement barométrique.

2. Baromètre à mercure (type Fortin de campagne). (Fig. 5 et 6).

2.1. La pression *lue* au baromètre doit être affectée des CORRECTIONS suivantes :

a. Correction de température du baromètre : cette correction est toujours soustractive. La *Table 7* la donne directement en fonction de la pression lue (en mm) et de la température du baromètre.

b. Corrections de latitude et d'altitude : l'examen de la *Table 8* montre que ces corrections sont toujours soustractives. Elles pourront d'ailleurs être négligées si on travaille dans une même région et si les altitudes varient relativement peu.

c. Correction d'étalonnage : si on emploie plusieurs

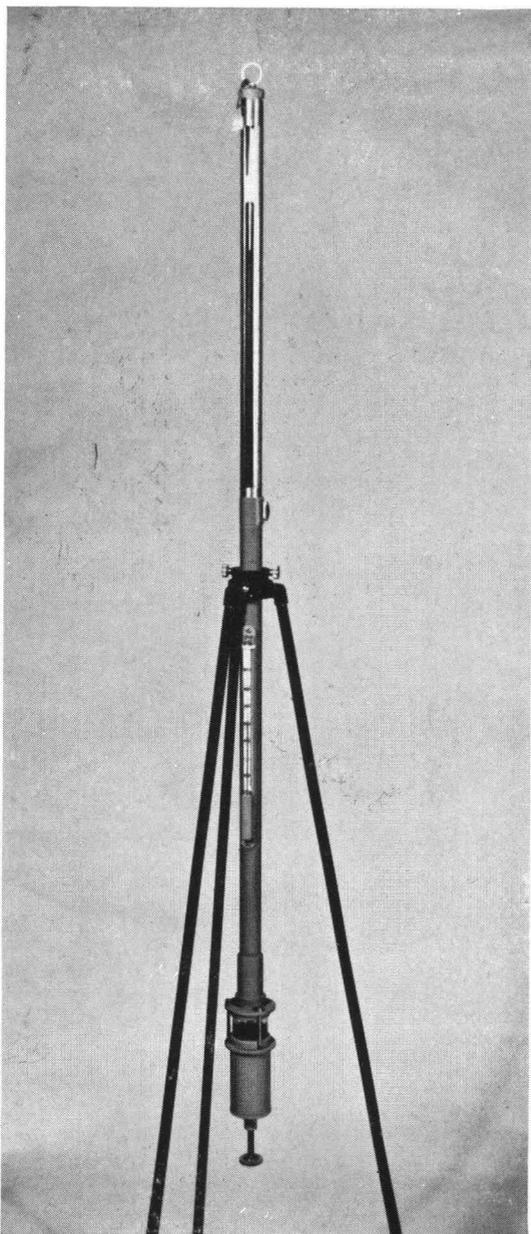


FIG. 5. — Baromètre à mercure Salmoiraghi, type Fortin de campagne.

baromètres, il y a lieu d'en choisir un comme baromètre étalon. La comparaison porte sur les pressions corrigées (*a*). La correction d'étalonnage est le résultat d'une moyenne de plusieurs observations simultanées (10 à 20) faites aux divers baromètres et au baromètre étalon.

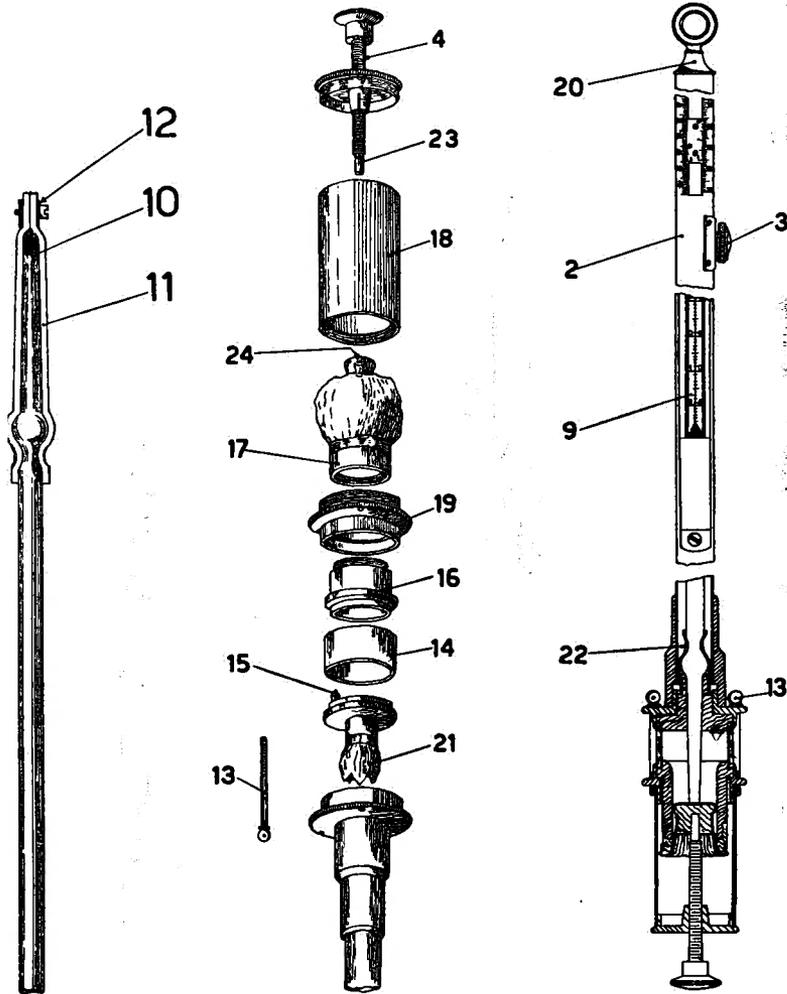


FIG. 6. — Baromètre à mercure Salmoiraghi : détails
(Extrait du Catalogue Salmoiraghi).

Par exemple (cas d'une observation d'étalonnage) :

	Baromètre 1	Baromètre 2
Pression lue (mm)	710,00	711,25
Température du baromètre	27°5	27°
Correction de température (mm)	—3,17	—3,12
Pression corrigée	706,85	708,15

Le baromètre 1 étant choisi comme étalon, *une* mesure de la correction d'étalonnage du baromètre 2 est égale à $706,85 - 708,15 = -1,30$ mm.

2.2. EMPLOI : RAPPEL DES PRINCIPALES PRESCRIPTIONS.

Station à l'ombre ; laisser le baromètre reprendre un équilibre de température (si, par exemple, il est resté dans un véhicule surchauffé) ; éventuellement, tapoter le tube si du mercure y adhère au-dessus de la colonne de mercure. Il peut se faire aussi que l'étanchéité entre le tube et le disque portant (15) (*fig. 6*) ne soit plus par-

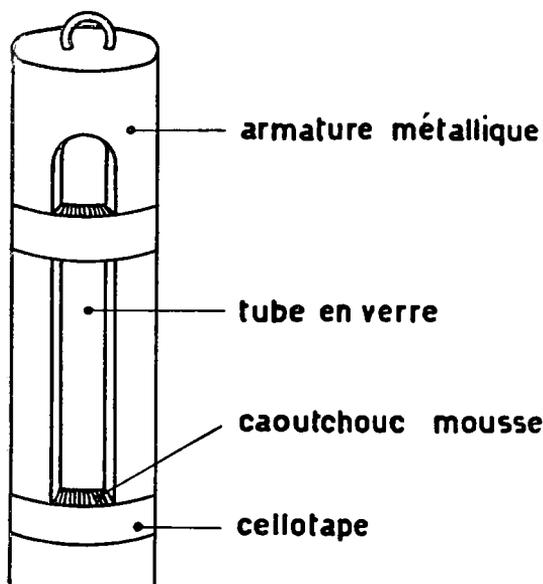


FIG. 7. — Protection du tube du baromètre.

faite : il faut attendre que le mercure redescende dans la cuvette ; il s'agit là d'un instrument qui devra évidemment être réparé. Ce temps mort de retour à l'équilibre sera utilement employé à faire d'autres opérations, avant de faire la lecture du baromètre : par exemple, mesures à d'autres instruments, mesure de la température de l'air, etc...

Lecture (*fig. 6*) : faire affleurer la pointe d'ivoire (15). Mise en place du curseur : rayon visuel bien horizontal : partie avant, partie arrière de la base du curseur et ménisque du mercure doivent être dans un même plan. Après application des corrections, arrondir la lecture corrigée au demi dixième de mm.

Transport (*fig. 6 et 7*) : Après la lecture, le pistonage (qui consiste à faire remonter, par la vis (4, 23), le mercure afin qu'il remplisse entièrement le tube) doit se terminer par l'audition d'un « clop » net, prouvant ainsi qu'il n'y a pas d'air dans le tube.

Pour le transport, la cuvette à mercure est placée vers le haut.

Lorsque les conditions de transport sont rudes (camionnette, mauvaises routes), on évitera le bris du tube, principalement dû aux vibrations transversales, en prenant les précautions suivantes :

Fixer le long de la partie visible du tube et en dehors de la zone des lectures, quelques petits morceaux (2 ou 3) de caoutchouc mousse maintenus par du « cellotape » entourant l'armature métallique (*fig. 7*). Fixer solidement l'étui du baromètre à une paroi du véhicule afin qu'il fasse corps avec celui-ci.

2.3. ENTRETIEN (*fig. 6*).

a. Parfaire le remplissage, si l'on constate que le pistonage ne laisse plus guère de course à la vis de pistonage (4, 23) : à cette fin, renverser le baromètre, cuvette

en haut, après pistonnage ; dévisser la gaine métallique (18) de la cuvette ainsi que le fond (17) avec peau de chamois ; ajouter du mercure propre ; remonter la cuvette.

b. Si le mercure de la cuvette est devenu trop terne, empêchant ainsi d'observer facilement l'image renversée de la pointe d'ivoire : démonter la cuvette comme en *a.* ci-dessus ; la vider en ayant bien soin d'obturer le tube avec le doigt. Le mercure recueilli sera nettoyé mécaniquement en le filtrant dans une peau de chamois bien propre, par pression exercée à la main.

c. Attention : pour toute opération avec du mercure, se débarrasser de ses bagues, bracelet-montre, etc.

d. Petits accessoires nécessaires à l'opérateur : une peau de chamois, un petit flacon d'éther ou d'alcool pour nettoyer l'intérieur de la cuvette ; une réserve d'un kg de mercure ; un petit bain de photographe pour recueillir le mercure ; de la résine et du fil solide (fil de pêcheur à la ligne) pour les ligatures des joints en peau de chamois.

3. Altimètres.

3.1. GÉNÉRALITÉS.

a. Il existe plusieurs marques d'altimètres : toutes sont basées sur le même principe de la capsule de VIDIE ; elles ne diffèrent que par des détails d'intérêt secondaire.

b. Tous les altimètres actuels sont « compensés pour la température » : c'est-à-dire que les variations de température de leurs pièces constitutives sont sans influence sur les lectures d'altitudes.

c. La graduation est donnée en mètres (ou en pieds = 30,48 cm) : cette graduation n'est autre que la transposition de la loi d'altitude pour une *atmosphère standard*

(voir *Annexe 1* — 3.3.1.). L'étalonnage de la graduation est fait en usine, pour telle atmosphère standard, généralement à température constante (voir prospectus de l'altimètre utilisé).

L'altimètre doit être considéré comme un appareil différentiel : il donne des différences d'altitudes : la différence des lectures brutes, (ΔZ) , en deux stations fournit directement la partie suivante de la formule de Laplace :

$$(\Delta Z) = 18.400 (\log p_1 - \log p_2) \quad (1)$$

Cette valeur représente, en principe, la hauteur d'une colonne d'air sec à 0°C : elle serait donnée par un altimètre dont la graduation correspondrait à une atmosphère standard à température constante égale à 0°C. Tel n'étant pas le cas en pratique, il faut remplacer la formule (1) par :

$$(\Delta Z) = 18.400 (\log p_1 - \log p_2) (1 + \alpha T)$$

où T est la température constante, ou variable avec l'altitude, de l'atmosphère standard utilisée pour la graduation de l'altimètre (voir *Annexe 4*).

Deux remarques importantes.

1) Si on utilise plusieurs altimètres différents, aux mêmes stations, et si on veut comparer leurs différences de lectures brutes, (ΔZ) , ou si l'on veut appliquer le 2^{me} terme de la formule de LAPLACE.

$$(1 + \alpha t)$$

à partir de 0°, il est donc indispensable de ramener les différences de lectures brutes (ΔZ) à une même température de référence : 0° par exemple.

Il faudra donc multiplier les (ΔZ) de chaque altimètre par leur coefficient respectif :

$$k = \frac{1}{1 + \alpha T}$$

Cette remarque est, en général, totalement perdue de vue. Ne pas l'appliquer conduit à soupçonner injustement la valeur des résultats obtenus (voir chap. III — 2.2.1.).

2. En région montagneuse, il peut exister une importante différence de pressions entre deux stations successives dont la différence d'altitudes est mesurée en un temps relativement court, (méthode des observations itinérantes). L'hystérésis des capsules barométriques peut entraîner une erreur appréciable sur la mesure de la dénivelée. Pour pallier cet inconvénient, nous conseillons de lever suffisamment de stations intermédiaires entre les 2 points dont on recherche la différence d'altitudes ; de réaliser au moins 2 liaisons altimétriques indépendantes entre ces 2 points, suivant le schéma A, B, A, B

d. L'emploi de l'altimètre, compensé pour la température, ne dispense aucunement d'appliquer au terme (1) la correction de température de l'air ($1 + \alpha t$) ; ni la correction de marée barométrique ; ni, si cela s'indique, celle d'humidité ($1 + 0,377 \cdot \frac{e}{p}$) ; ni, éventuellement, les corrections d'altitude et de latitude (voir *Annexe 2*).

e. Quelques remarques sur deux types d'altimètres.

Altimètre WALLACE *and* TIERNAN (Modèle F. A. 112) (*fig. 8*).

Réglage : mesurer la pression au baromètre à mercure ; lire sur la table située dans le couvercle (*Table 9*) l'altitude correspondant à la pression mesurée ; si nécessaire, déboucher le bouchon en plexiglas pour atteindre la vis



FIG. 8. — Altimètre Wallace and Tiernan Mod. FA 112.



FIG. 9. — Altimètre Thommen 3 B 4.



FIG. 10 — Altimètre Thommen 3 B 4.



de réglage et tourner celle-ci afin de mettre l'aiguille sur l'altitude déduite de la table.

Cet altimètre a une très bonne précision de lecture, de l'ordre de 50 cm (une division, environ 1 mm = 10 pieds ~ 3 m). Le zéro correspond à la graduation 1.000 ; malheureusement la portée totale est petite : près de 2.000 m.

L'abaque situé dans le couvercle fournit la correction due à la température de l'air ($1 + at$). (*Table 9*). Cet abaque tient compte de ce que l'altimètre a été gradué pour une atmosphère standard caractérisée, à 0 pied par 760 mm de mercure et 50° F (10° C). Le coefficient k , dont nous avons parlé plus haut, est égal à 0,965.

La notice donne un abaque pour la correction d'humidité : malgré ses dimensions très petites, il peut donner de bons résultats.

Nous lui préférons, toutefois, l'abaque (*Table 10*) tiré de [4] que nous avons légèrement modifié afin de faciliter l'interpolation et auquel nous avons ajouté une graduation en mètres.

Le rendement maximum de l'exploitation des observations est obtenu en suivant les prescriptions de la *Notice* du WALLACE.

Altimètre géodésique THOMMEN (3 B 1 — 3 B 4). (*fig. 9 et 10*).

Le 3B1 a une zone de 4.000 m. — précision de lecture : 2 m. Le 3B4, sur lequel nous nous étendrons uniquement, a une zone de 2.500 m. — précision de lecture : 1 m : il possède un dispositif d'isolement barométrique permettant de le transporter en avion.

Les THOMMEN sont étanches à l'eau et aux poussières.

Le bouton qui permet, lorsqu'il est tiré vers le haut, de faire apparaître dans la fenêtre inférieure la pression barométrique, n'a aucune action sur la capsule de VIDIE :

il n'existe qu'une simple liaison mécanique entre ce bouton et l'échelle des pressions.

Le THOMMEN 3B4 est gradué selon l'atmosphère standard CINA à température variable avec l'altitude ($T = 15^{\circ} - 0,0065 \cdot Z$) (voir *Annexe 4*).

3.2. EMPLOI.

Station : comme pour le baromètre à mercure, à l'ombre ; ne pas déposer l'altimètre à même le sol ; laisser s'écouler quelques minutes avant la première lecture, surtout si l'altimètre a été secoué et transporté dans un véhicule surchauffé.

Lecture : l'altimètre sera placé bien horizontalement. Éviter de « tapoter » avec le doigt la vitre de l'altimètre avant la lecture : souvent, cette façon de procéder est trop rude, elle n'est pas toujours la même, et risque de fausser la lecture ; d'ailleurs, si l'altimètre a été secoué durant le transport, « tapoter » ne sert à rien. Ce que l'on peut faire, au demeurant, est d'ouvrir le couvercle en le laissant retomber légèrement sur son arrêt, et toujours de la même façon ; ou bien, ce qui est préférable, élever et abaisser l'altimètre verticalement 2 ou 3 fois.

Lors de la lecture, éviter la parallaxe ; celle-ci est éliminée si l'altimètre est muni d'un miroir circulaire sous l'aiguille.

Transport : les altimètres sont des appareils délicats. Il faut leur éviter les chocs ; en véhicule automobile, ne pas laisser l'altimètre à même le plancher ; veiller à ce qu'il soit fixé, ou déposé dans un logement *ad hoc* suivant la position qu'il a lors des lectures. Éviter le transport par avion (sauf pour le THOMMEN 3B4).

3.3. ENTRETIEN.

Veiller à éviter l'introduction de poussière dans l'altimètre ; surveiller les dégâts produits par l'humidité ; surveiller la rectitude de l'aiguille.

Faire appel à un spécialiste plutôt que démonter soi-même un altimètre dans le but de le réparer.

4. Barographes.

4.1. GÉNÉRALITÉS.

Le barographe sert à équiper le poste-base. S'il épargne la présence d'un observateur à ce poste, ses résultats ne valent pas, pour autant, ceux obtenus par des observations répétées (de 15 en 15 minutes) à un baromètre à mercure.

La préférence doit aller au micro-barographe qui augmente la précision du dépouillement des barogrammes.

4.2. EMPLOI.

Station : à l'ombre ; à distance du sol, à l'abri du vent. La feuille (barogramme) doit être placée sur le cylindre de façon à y adhérer parfaitement ; lorsqu'on déplace la plume de haut en bas, elle doit marquer un trait parallèle aux courbes équi-temps du barogramme.

Réglage de la pression et de l'heure.

Pression : faire marquer au barographe la pression déterminée au baromètre à mercure. A défaut de baromètre à mercure, déduire une pression approchée d'une lecture d'altimètre.

Heure : à la mise en marche, mettre la plume sur l'heure de la montre qui correspond à la mise à pression.

A cette fin, on tourne le cylindre porte-barogramme en terminant dans le sens opposé à celui dans lequel le mouvement d'horlogerie l'entraîne ; cela est fort important, sinon il se produit un décalage systématique en temps, de près d'une heure avec le microbarographe SHORT and MASON. Au moment de la mise à l'heure, faire tracer un petit trait vertical à la plume.

On aura noté au préalable sur le barogramme la pression et l'heure initiales.

A l'occasion des visites au poste-base, on notera l'heure de la montre sur le barogramme à l'aplomb du petit trait vertical que l'on aura fait marquer par la plume ; on notera également sur le barogramme, le cas échéant, la pression lue au baromètre qui a servi au réglage (éventuellement à un autre baromètre bien étalonné) ; les annotations sur le barogramme seront faites avec beaucoup de soin, afin de ne pas influencer sur le mouvement du cylindre porte-barogramme.

Lecture :

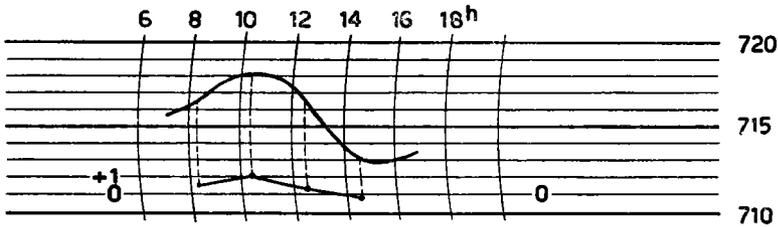
Il s'agit en réalité du dépouillement du barogramme après l'avoir retiré de son support.

Il y a lieu de s'assurer s'il faut corriger l'échelle des temps par suite d'un retard, ou d'une avance, du mouvement d'horlogerie. A cette fin, on se basera sur les petits traits verticaux marqués lors des comparaisons.

Il faudra également tenir compte des comparaisons qui auraient été faites en pression. Les différences obtenues étant en général assez petites, on procédera comme suit si le nombre des comparaisons est assez grand et si celles-ci sont bien réparties dans le temps (*fig. 11*) [3] :

Choisir un trait horizontal (00) en dehors de la courbe barométrique ; convenir d'une échelle, par ex. l'intervalle entre deux traits horizontaux est pris égal à 0,1 mm. Si à 8 heures la différence (pression au baromètre — pression du barogramme) est égale à + 0,05 mm, mar-

quer un point à l'heure de comparaison (petit trait vertical) ; si à 10 h cette différence est de $+0,1$ mm, marquer un point sur le trait 1 (vers le haut) ; etc.... Si la différence est négative, porter le point vers le bas (sous le trait 00). On joint les points et on obtient une courbe de correction. Par conséquent, à un instant quelconque, la pression corrigée est égale à la pression lue sur la courbe barométrique, plus — ou moins — la correction lue le long de la courbe équi-temps.



— FIG. 11 Dépouillement du barogramme.

Dans la très grande majorité des cas, le barogramme ne portera que deux comparaisons : celle au départ du poste-base, celle à la rentrée au poste-base ; parfois, sur une semaine, deux ou trois comparaisons intermédiaires lors des visites au poste-base. Il appartient alors à l'opérateur de tirer une conclusion de ces rares points de comparaison :

Le mouvement d'horlogerie a-t-il une marche régulière, d'allure accidentelle ou systématique, importante ou négligeable ?

Les corrections de pression sont-elles grandes, petites, régulières, irrégulières ?

Pour les heures des observations itinérantes, l'interpolation devra être faite avec prudence. Lorsque cela est possible, par exemple dans le cas du dépouillement des mesures en Europe, on facilite grandement la lecture des barogrammes en les microfilmant, et en les projetant ensuite sur un écran blanc pour procéder aux lectures.

Transport :

Les détails des précautions à prendre dépendent de la marque du barographe et de la nature du transport (long ou court ; exceptionnel ou répété).

En ordre principal, il faut éviter surtout que se produisent des contre-actions qui provoquent des « force-ments » des parties mécaniques.

Ainsi, si la chose peut se faire aisément, il sera intéressant de libérer le système des leviers du système sensible. Dans tous les cas, il faudra guider le bras portant la plume, le long de la tige qui sert à écarter la plume : une bonne façon de procéder est de créer une espèce de glissière pour ce bras en collant aux extrémités de la tige écarte-plume une languette de carton léger. On veillera également à sécher et nettoyer la plume avant un transport.

Entretien :

Tout accident mécanique doit être réparé par un spécialiste : s'adresser au Service météorologique du Congo Belge ou à la firme de construction.

La plume doit toujours être bien propre et son remplissage d'encre ne doit pas être exagéré ; elle doit appuyer légèrement sur le papier, sinon le trait risque d'être trop gros, ou en escalier. Veiller à éviter la poussière et la rouille.

5. Thermo-hygrographe.

Voir 4. Barographe.

6. Thermomètre-fronde-Psychomètre.**6.1. GÉNÉRALITÉS.**

Ces instruments servent à déterminer la température sèche et la température humide de l'air. Dans le premier

cas, le réservoir du thermomètre doit être bien sec ; dans le second, il doit être humidifié par de l'eau distillée (à défaut, par de l'eau de pluie).

Le psychromètre est une crécelle qui comporte un thermomètre sec et un thermomètre humide.

L'humidification peut se faire par l'intermédiaire d'un morceau de mousseline qui coiffe le réservoir du thermomètre.

6.2. EMPLOI.

Rotation du thermomètre (ou du psychromètre) durant une minute, à l'ombre et face au vent, à bout de bras. Faire la lecture. Recommencer l'opération jusqu'à obtenir deux lectures au même thermomètre ne différant que de 0,2 degré au maximum. La lecture doit se faire très rapidement, immédiatement après l'arrêt de la rotation.

Entretien.

Il n'y a lieu de signaler que ce qui concerne le thermomètre humide : la mousseline doit être propre ; il faut en changer assez souvent (tous les 8 à 15 jours).

7. Mesure du temps.

Nous signalons ce point pour attirer l'attention sur la nécessité de connaître l'heure des observations. Une bonne montre est suffisante. On se souviendra que les observations de marée barométrique des postes du Service météorologique sont rapportées au temps civil de Greenwich (GMT) ; d'autres postes se réfèrent au temps civil local (LMT).

CHAPITRE III

APPLICATION DES MÉTHODES DE NIVELLEMENT BAROMÉTRIQUE

1. Méthode des observations simultanées.

1.1. Nous n'avons pas eu l'occasion d'appliquer cette méthode de façon systématique. Aussi, avons-nous demandé à M.-J. HURAUULT [3] l'autorisation de reproduire un extrait d'un exemple qui figure pp. 66-67 de sa publication ; nous l'en remercions bien sincèrement.

1.2. Cet exemple (*Tableau 1*) ne demande guère de commentaire. Pour le suivre dans le détail, il faut utiliser les Planches I et III (La *Planche II* n'est que le prolongement de la *Planche I* et n'est pas d'utilité dans le cas présent). Les légendes de ces planches sont suffisamment explicites pour qu'il nous suffise de développer un peu le calcul de la dénivelée entre A et M pour le point 51 :

a. Les températures t_m et t_a sont les températures sèches. Les tensions de vapeur d'eau, en mm, f_m et f_a proviennent de l'abaque *Planche III*. Dans le cas présent on n'a pas donné les températures humides t'_m et t'_a .

b. La température Θ provient de l'emploi des abaques *Planche I* :

$$\begin{aligned}\Theta &= \frac{20^{\circ}5 + 22^{\circ}0}{2} = 21^{\circ}3 \\ &+ 51^{\circ}46 \frac{f_a}{P_a} = 1^{\circ}1 \\ &+ 51^{\circ}46 \frac{f_m}{P_m} = 1^{\circ}1 \\ &+ 0^{\circ}72 \cos 2 L = \frac{0^{\circ}7}{24^{\circ}2} \text{ (nous supposons } L = 5^{\circ}\text{)}\end{aligned}$$

TABLEAU 1. — CALCUL DE L'ALTITUDE D'UN POINT PAR COMPARAISON À 3 POSTES ENREGISTREURS.

Mission Bangui Année 1946 1^e Brigade de stéréopréparation.

N° du point	N° des photos correspondantes	Date	Heure	Point à calculer M Cheminement n° 6						Poste enregistreur A de Pt Central... cote $z_a = 619,4$						Poste enregistreur B de Bourbara... cote $z_b = 596,8$						Poste enregistreur C de Marali... cote $z_c = 523,1$						Valeur choisie pour z_m
				P_m	t_m	f_m	P_a	t_a	f_a	θ	$Z_1 = Z_A - Z_M$	z_a^m	z_m	P_b	t_b	f_b	θ	$Z_1 = Z_B - Z_M$	z_b^m	z_m	P_c	t_c	f_c	θ	$Z_1 = Z_C - Z_M$	z_c^m	z_m	
51	91, 92, 93, vic	22.7	6.50	712,74	22,0	15	709,45	20,5	15	24,2	37,0	40,3	579,1	711,40	20,7	15	24,4	$P_M - P_A = +1,34$ mm	16,4	580,4	717,20	21,3	15	24,6	47,6	53,6	576,7	578,7
56	86, 87, 88, vic 11, 12, VIR	24.7	8.30	709,95	24,5	15	709,15	22,0	15	26,2	$P_M - P_A = +0,80$ mm	9,9	609,5	710,75	22,2	15	26,3	$P_M - P_A = -0,80$ mm	9,9	606,7	716,70	24,1	15	27,3	75,4	83,0	606,1	607,4
56	*		9.00	709,93	25,5	15	709,05	22,5	15	27,0	$P_M - P_A = +0,90$ mm	11,1	608,3	710,75	22,8	15	27,1	$P_M - P_A = -0,80$ mm	9,9	606,7	716,95	24,6	15	28,0	76,1	83,9	607,0	607,3

(Extrait de [3]. J. HURVAULT, pp. 66-67.)

c. La dénivelée Z_1 provient de la *Planche I*, courbe (1) : pour $P_a = 709,45$ on lit : 5657
 $P_m = 712,74$ on lit : 5694

D'où $5657 - 5694 = -37$ m.

d. La dénivelée corrigée z_a^m provient de la *Planche I*, obliques (2) :

Pour 370 m = 10×37 m et $24^{\circ}2$, on lit 403 m = $10 \times 40,3$ m.

e. La valeur conclue pour l'altitude est la moyenne des 3 valeurs partielles.

Dans le cas, signale J. HURAUULT, où l'on a toutes ses assurances sur la qualité du personnel observateur et sur celle des instruments, on pourra admettre que les écarts entre les diverses valeurs de l'altitude d'un point sont dus aux perturbations barométriques locales. Si l'on se trouve dans une région où celles-ci sont assez fortes, « il sera logique dès lors de faire une moyenne pondérée en tenant compte de la distance de chaque poste enregistreur au point à déterminer », ces distances étant mesurées au km près.

2. Méthode des observations itinérantes.

2.1. EXEMPLE EXTRAIT DES LEVÉS DANS LA CUVETTE CONGOLAISE.

2.1.1. Réseau général.

La *carte 1* représente le schéma des liaisons entre les sommets du réseau (1). La zone envisagée va de Port-Francqui à Banningville, longeant la rive Sud du Kasai.

L'examen des zones d'action des postes-bases montre que les opérateurs ont pu respecter, en règle générale,

(1) Il s'agit ici d'une petite partie du réseau entier de la Cuvette ; il se continue à l'est et au nord-ouest.

la limite de 50 km ; parfois, ils l'ont dépassée, sans excéder de l'ordre de 70 km : il est évident qu'il existe parfois certaines contingences qui empêchent de respecter la limite de 50 km. D'autre part, il ne faut pas prendre pour une erreur le fait que certains postes bases soient groupés près l'un de l'autre (par exemple M 42-40 — M 42-20 et M 42) : ces postes ont fonctionné à des jours différents, car deux équipes étaient occupées aux levés.

2.1.2. Exemple commenté d'une partie du levé.

a. La *carte 2* représente la partie Est du réseau général. Deux opérateurs différents ont participé au levé ; leur équipement était, respectivement :

- 1 Altimètre Wallace and Tiernan ;
- 1 Thermomètre fronde en degré F. (température sèche uniquement, l'influence de l'humidité étant négligeable) ;
- 1 Barographe SHORT and MASON ;
- 1 Baromètre à mercure SALMOIRAGHI ;
- 1 Montre

- 1 Altimètre Thommen 3B4 ;
- 1 Thermomètre fronde en degré C (même remarque) ;
- 1 Barographe SHORT and MASON.
- 1 Baromètre à mercure Casella ;
- 1 Montre.

Le déroulement général des opérations dans cette partie du levé est schématisé dans le tableau 2.

Il est à remarquer que chaque station (stations à env. 5 km l'une de l'autre) comportait, outre l'altimétrie, des mesures gravimétriques et magnétiques. Comme on peut le voir par la *carte 2*, la zone d'action efficace de 50 km autour des postes bases a été trop largement dépassée par l'équipe « Thommen » : il s'agit là d'un réel

TABLEAU 2. — Observations itinérantes : programme des opérations.

Équipe	Date	Circuit levé	Nombre de stations	Poste base	Critiques
WALLACE-TIERNAN	03.04.55	Port-Francqui (M) - Basongo-riv. Loange (M7.10)	24	Basongo (M-6)	—
	04.04.55	Basongo (M-7) vers Banga (M-17)	13	idem	—
	05.04.55	Banga (M42) vers Basongo (M-17)	27	Banga (M42)	zone de 50 km dépassée jusqu'à 70 km
	06.04.55	Kasongo Mule (M57)-Banga (M42) et Banga (M42) vers Kamukamu (M42-10)	29	idem	—
	07.04.55	Banga (M42-10) à Kamukamu (M42-20)	13	Kamukamu (M42-20)	—
THOMMEN	09.04.55	Port-Francqui (M2) vers Kasongo-Mule (M2-22)	24	Basongo (M6)	Zone de 50 km dépassée exagérément
	12.04.55	Mapangu (M-7-2) vers Bangu(M7-2-22)	27	idem.	zone critique.
	14.04.55	suite du 090456 : M2-22 à M57	21	Banga (M42)	zone de 50 km dépassée jusqu'à 70 km
	15.04.55	suite du 120456 :M42 à M7-2-22	11	idem	—

défaut de ce levé, défaut qui n'est peut-être pas étranger à l'obtention de deux erreurs de fermeture exceptionnellement grandes, 19 m et 28,5 m (voir *carte 1*).

b. *Calcul des mesures* WALLACE and TIERNAN.

Les feuilles de mesures et calculs sont d'un modèle suggéré par l'expérience : il évite les erreurs qu'entraînent les transcriptions des mesures sur une feuille de calculs distincte.

Nous commenterons une des feuilles, reproduite au Tableau 3, colonne par colonne :

Col. 2 : Le numéro de la station est suffisant ; éventuellement y ajouter un mot la caractérisant, par exemple s'il s'agit d'une borne de triangulation. L'opérateur doit remplir séparément une feuille de définition de station sur laquelle figure, en regard de son numéro, la description détaillée de chaque station.

Col. 3 : Initiales de l'altimètre utilisé et son numéro éventuellement.

Col. 4 : Bien spécifier le système de temps utilisé ; cela est important dans l'exploitation des barogrammes (Col. 9-10).

Col. 5 : Lecture faite à l'altimètre. En tête, barrer l'unité non employée.

Col. 6 : Température sèche lue au psychromètre.

Col. 7 : Température humide : non observée dans cet exemple.

Col. 8 : Dénivelée brute issue de la col. 5. ; même unité.

Col. 9 à 12 : En tête, indiquer le poste-base utilisé. Cette inscription est faite au moment des mesures.

Col. 9 : Lectures au barogramme, *correspondant aux heures* Col. 4. Dans le cas présent, le barogramme est gradué en mm.

Col. 10 : Conversion en mbar de Col. 9, car l'abaque du WALLACE-THIERNAN est en mbar.

TABLEAU 3. — Feuille de mesures et calculs : altimètre Wallace-Tierman.

REMINA		Mission : Syndicat Cuvette Congolaise										Levé de : Port.-Franqui-Riv.-Loanga										Opérateur : Svenger			Calculateur : Jones		
Date	Station	Instru- ment	Heure GMT + 2	Lecture mètres pieds	Température		ΔZ brut	Correction marée :		ΔZ corrigé de marée	Température moyenne		Corrections tempér. humidi- té	ΔZ corrigé de 17 et 18 pieds	ΔZ conclu m	Altitude m											
					s	h		mm	N		dN	s					h										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22						
03-04-55	M1	W.T. n°...	10.29	2200	81°F		+ 22	726,20	968,20	2216	- 8	+ 14		83		+ 1		+ 15	+ 4,5								
	M1-A		11.29	2222	85°		+ 455	726,00	967,90	2224	- 14	+ 441		85		+ 30		+ 471	+ 143,5								
	M1-B		11.49	2677	85°		+ 198	725,65	967,45	2238	- 4	+ 194		84,5		+ 13		+ 207	+ 63								
	M2		12.07	2875	84°		- 64	725,55	967,30	2242	- 6	- 70		85		- 5		- 75	- 23	- 23							
	M3		12.26	2811	86°		- 229	725,40	967,10	2248	- 11	- 240		87		- 18		- 258	- 78,5	- 78							
	M4		12.38	2582	88°		- 56	725,10	966,70	2259	- 3	- 59		87,5		- 4		- 63	- 19	- 19							
	M5		12.52	2526	87°		- 146	725,00	966,60	2262	- 6	- 152		87,5		- 13		- 165	- 50,5	- 50							
	M6		13.09	2380	88°		- 112	724,85	966,40	2268	- 9	- 121		88,5		- 9		- 130	- 39,5	- 39,5							
	Sept Ponts		13.18	2268	89°		+ 131	724,60	966,05	2277	- 10	+ 121		88		+ 9		+ 130	+ 39,5	+ 40							
	M6-1		13.35	2399	87°		+ 281	724,35	965,70	2287	- 20	+ 261		87		+ 19		+ 280	+ 85,5	+ 86							
	M6-2		14.18	2680	87°		- 20	723,80	965,00	2307	- 10	- 30		87		- 2		- 32	- 10	- 9,5							
	M7		14.29	2660	87°		- 30	723,55	964,65	2317	- 4	- 34		87,5		- 3		- 37	- 11,5	- 12							
	M7-A		14.45	2630	88°		- 257	723,45	964,50	2321	- 3	- 260		90		- 21		- 281	- 85,5	- 86							
	M7-1-A		15.04	2373	92°		+ 515	723,35	964,40	2324	- 9	+ 506		91,5		+ 41		+ 547	+ 166,5	+ 166							
	M7-1-B		15.22	2888	91°		+ 61	723,10	964,05	2333	- 5	+ 56		90		+ 4		+ 60	+ 18,5	+ 18							
							+ 749				- 122	+ 627				+ 42		+ 669	+ 203,5								

N°s de référence :

Dossier n° 222/7

Feuille n° 1

Col. 11 : Lecture de l'altitude standard (N), en pieds, en regard de la pression Col. 10, sur la *Table 9*.

Col. 12 : Différence issue de Col. 11.

Le signe de la correction de marée dN est celui de la variation de pression ; si la pression a augmenté, la correction dN est + , et l'inverse.

Col. 13 : Col. 8 + Col. 12.

Col. 14 : sans objet pour le Wallace.

Col. 15 : Température sèche moyenne, issue de Col. 6.

Col. 16 : Sans objet dans ce cas.

Col. 17 : Correction de température obtenue par l'abaque *Table 9* : y entrer avec les valeurs Col. 13 et Col. 15.

Le signe de la correction est toujours celui de la col. 13.

Col. 18 : Sans objet dans ce cas.

Col. 19 : Col. 13 + Col. 17. (en pieds).

Col. 20 : Conversion de la Col. 19 en mètres.

Col. 21 : S'il n'existe qu'une seule mesure de la dénivelée, la valeur conclue est celle de la Col. 20.

Si plusieurs mesures ont été faites, la valeur conclue de la dénivelée en est la moyenne, ou le résultat d'une petite compensation partielle. Dans l'exemple présenté ici, les mesures réitérées, dont le résultat final figure Col. 21, n'apparaissent pas : elles proviennent d'autres feuilles de calculs.

Col. 22 : Simple cumulation des dénivelées à partir d'une altitude de départ. (Ne figure pas dans ce cas, le réseau altimétrique de la cuvette congolaise n'étant pas encore compensé. Lorsque cette compensation sera faite, les corrections de compensation seront inscrites, au préalable, en dessous des valeurs Col. 21).

Sécurités de calcul.

Des contrôles « verticaux » doivent être faits : Col. 8, 12, 13, 17, 19 et 20 (en gras sur l'exemple).

Les valeurs partielles des Col. 8, 10 à 12, 15 et 17 doivent être calculées en double.

c. Calcul des mesures THOMMEN 3B4.

Nous reproduisons au *Tableau 4* une des feuilles de mesures-calculs ; les commentaires sont les mêmes que ceux de l'exemple WALLACE-TIERNAN, sauf pour :

Col. 10 : Inutile dans le cas présent, l'abaque employé pour le THOMMEN étant gradué en mm.

Col. 11 : Lecture du nombre (N), en mètres, en regard de la pression Col. 9, sur la Planche 1, courbe 1.

En fait, il faudrait disposer, comme pour le WALLACE-TIERNAN, d'un graphique de l'atmosphère standard CINA ; un tel graphique sera établi sous peu.

Col. 14 : Le coefficient employé, 0,958, est peut-être un peu faible. Le choix de 0,962 eut été meilleur. Mais, comme les dénivelées ne dépassent guère 100 m, l'erreur commise n'atteint pas 0,50 m (voir annexe 4).

Col. 15 : Il est à remarquer, en relation avec la colonne 6, que les variations de température de l'air n'ont pas l'allure habituelle, dans la zone des mesures du 9 avril 1955. Normalement, la température augmente graduellement, pour atteindre un maximum vers 14-15 h, heure légale. On se trouve ici dans des conditions météorologiques très probablement défavorables à la précision du nivellement barométrique.

Col. 20 : Sous réserve de la correction d'humidité, négligée dans ce cas, l'abaque *Planche I*. — réseau (2) — donne directement la dénivelée corrigée de la température.

TABLEAU 4. — Feuille de mesures et calculs: altimètre THOMMEN

REMINA		Mission : Syndicat Cwette Congolaise				Levé de : Mitsubishi vers Kasongo-Mule				Opérateur : Mathieu				Calculateur : Jones							
Date	Station	Instru- ment	Heure GMT + 2	Lecture mètres pieds	Température		ΔZ brut	Base mm	Correction marée : Base = Basongo (M - 6)		ΔZ corrigé de marée	$13 \times k$ k = 0,958	Température moyenne		Corrections		ΔZ corrigé de 17 et 18 pieds	ΔZ conclu m	Altitude m		
1	2	3	4	5	s	h	8	9	mbar	N	12	13	14	s	h	17	18	19	20	21	22
09-04-55	M2	Th 3B4	08.59	601,0	21°5		+ 19	727,70		5860,0	+ 1,5	+ 20,5	+ 19,5	22°35					+ 21		
	M2-1	no ...	09.17	620,0	23°2		- 87	727,85		5861,5	+ 1,5	- 85,5	- 82	23°25					- 89		
	M2-2		09.35	533,0	23°3		+ 72,5	728,00		5863,0	+ 0,5	+ 73	+ 70	22°55					+ 76		
	M2-3		09.55	605,5	21°8		- 60,5	728,05		5863,5	+ 0,5	- 60	- 57,5	22°75					- 62,5		
	M2-4		10.13	545,0	23°7		- 14	728,10		5864,0	-	- 14	- 13,5	24°10					- 15		
	M2-5		10.31	531,0	24°5		+ 64	728,10		5864,0	+ 0,5	+ 64,5	+ 62	25°00					+ 68		
	M2-6		10.50	595,0	27°3		- 36	728,15		5864,5	- 0,5	- 36,5	- 35	26°20					- 38,5		
	M2-7	près tour IGC B	11.51	559,0	25°1		+ 27,5	728,10		5864,0	- 1	+ 26,5	+ 25,5	25°10					+ 27,5		
	M2-8		12.05	586,5	25°1		+ 69,5	728,00		5863,0	-	+ 69,5	+ 66,5	25°25					+ 72,5		
	Base signal IGCB 55/621		12.11	656,0	25°4		- 55	728,00		5863,0	- 2	- 57	- 54,5	25°40					- 59,5		
	M2-9		12.26	601,0	25°4		- 41	727,80		5861,0	- 2,5	- 43,5	- 41,5	26°50					- 45,5		
	M2-10		12.44	560,0	27°6		+ 112	727,55		5858,5	- 2,5	+ 109,5	+ 105	26°80					+ 115,5		
	M2-11		12.58	672,0	26°0		+ 7	727,35		5856,0	- 1	+ 6	+ 5,5	24°50					+ 6		
	M2-12		13.14	679,0	23°0		+ 4	727,25		5855,0	- 6,5	- 2,5	- 2,5	22°65					- 2,5		
	M2-13		13.47	683,0	22°3		+ 82,0	726,65		5848,5	- 11,5	+ 70,5	+ 67,5						-		

Nos de référence :

Dossier n° 221/7

Feuille n° 39

Sécurité de calcul :

Voir WALLACE-TIERNAN.

Contrôles verticaux : Col. 8-12-13-14.

Calcul en double pour les valeurs partielles des colonnes 8, 9 à 12, 15 et 20.

d. Précision des mesures.

La carte 2 montre que des points de la triangulation du Kasai ont été « recoupés » par le nivellement barométrique. La comparaison des résultats du nivellement trigonométrique et du nivellement barométrique conduit au tableau suivant :

TABLEAU 5. — Comparaison des résultats du nivellement trigonométrique et du nivellement barométrique.

Station Cuvette	Point I. G. C. B.	ΔZ_t trigonomé- trique m	ΔZ_b niv ^t barom. m	$\Delta Z_t - \Delta Z_b$ m	Situations respec- tives des stations Cuvette et I. G. C. B.
M12-M13	55/614				proches
		+ 16,6	+ 9,5	+ 7,1	à 15 m
M19	55/612	+ 3,0	+ 2,5	+ 0,5	à 10 m
M20	55/611	+ 63,7	+ 62,5	+ 1,2	à 15 m
M35	54/644				
M12-M13	55/614	- 71,8	- 73,0	+ 1,2	voisines
M7-1-2-a	55/608				
M12-M13	55/614	+ 6,1	+ 5,0	+ 1,1	voisines
M7-2-4	55/605	0	+ 1,0	- 1,0	voisines
M7-2-6	55/604				
M7-1-2-a	55/608	+ 90,0	+ 85,0	+ 5,0	identique
M2-8	55/621				

e. Compensation du réseau général.

Pour appliquer la méthode des moindres carrés à la compensation des erreurs de fermeture du réseau général (*carte 1*), il faudrait être assuré du *caractère accidentel* des erreurs de mesure en nivellement barométrique. Or, sur ce point, nous n'avons pas encore pu nous former une opinion. Toutefois, il est indispensable de faire du réseau, en vue du calcul des altitudes, *un ensemble géométriquement fermé*. C'est dans ce but uniquement que nous avons compensé le réseau par les moindres carrés. Les corrections de compensation (*v*) se répartissent comme suit :

- 12 entre 0 et + 3 m ;
- 10 entre 0 et — 3 m ;
- 5 entre + 3 et + 9,5 m ;
- 9 entre — 3 et — 9,5 m.

Parmi ces deux dernières séries, les 5 plus grands (*v*) (— 9,5 m, + 9,5 m, + 8,3 m, — 8,2 m, + 7,1 m) concernent évidemment les tronçons des deux mailles Est fermant à + 19 et — 28,5 m.

A titre documentaire, l'erreur moyenne de l'unité de poids est de 6,5 m.

22. Considérations particulières sur des levés exécutés en régions montagneuses.

2.2.1. La mission gravimétrique 1955-1956 exécutée par la Sté REMINA pour le compte de l'Institut pour la Recherche scientifique en Afrique centrale et le Comité spécial du Katanga, nous donne l'occasion de nous étendre quelque peu sur deux questions particulières : l'application du coefficient *k* (*Annexe 4*) et celle de la correction d'humidité.

Cette mission a parcouru tout le Graben, depuis Irumu,

jusqu'à l'Upemba. Pour le nivellement barométrique, le chef de mission (M. MATHIEU) disposait de l'équipement suivant :

- 1 Altimètre THOMMEN 3B4 ;
- 1 Altimètre WALLACE-TIERNAN ;
- 1 Psychromètre ;
- 1 Barographe SHORT-MASON (pour la partie C.S.K. seulement) ;
- 1 Baromètre à mercure CASELLA ;
- 1 Montre.

L'exécution des mesures n'a pas pu toujours être effectuée dans les conditions idéales signalées au Chapitre 1. C'est ainsi qu'on n'a pas eu l'occasion de déterminer expérimentalement le rayon limite K d'efficacité des poste-base et même, vu des circonstances impérieuses, on a parfois dû dépasser assez largement la limite de 50-70 km admise dans la Cuvette: d'autre part, les stations ne sont pas aussi rapprochées dans l'espace et dans le temps que dans la Cuvette ; enfin, l'importance de certaines dénivelées d'une station à l'autre, (jusqu'à plus de 800 m) et de certaines altitudes, ont parfois provoqué le dépassement de la portée maximum de l'altimètre WALLACE-TIERNAN. C'est ainsi que, finalement, on n'a retenu que les résultats donnés par les mesures avec l'altimètre THOMMEN 3B4, ceux du WALLACE servant de contrôle.

Néanmoins, les comparaisons des dénivelées sur 18 points de triangulation dont l'altitude trigonométrique est connue, et le très grand nombre de mesures réitérées aux deux altimètres (chaque couple de stations a fait l'objet de deux séries indépendantes de mesures), permettent une première étude de la validité du coefficient k appliqué aux mesures THOMMEN, et d'examiner l'intérêt de l'application de la correction d'humidité.

A cette fin, nous avons tiré des mesures les quelques exemples suivants que nous commenterons brièvement.

2.2.1. Application au THOMMEN 34B du coefficient k (*Annexe 4*).

Les mesures THOMMEN ont été calculées avec, et sans, le coefficient k . Celui-ci est déterminé à l'aide du graphique de l'annexe 4. Comparés aux résultats WALLACE-TIERNAN, on constate l'intérêt de l'application du coefficient k (voir colonne 2^o du *tableau C*).

D'autre part, si l'on désirait comparer les lectures mêmes aux deux altimètres, il suffirait de multiplier les résultats WALLACE-TIERNAN colonne 13, par 0,965 (voir Chap. II-3-e) ; on obtient :

$$\begin{aligned} - 2115' &\equiv 644,6 \text{ m} \times 0,965 = 622 \text{ m, pour THOMMEN} \\ &= 621 \text{ m ;} \\ + 656' &\equiv 199,9 \text{ m} \times 0,965 = 192,9 \text{ m, pour THOMMEN} \\ &= 191 \text{ m ;} \\ - 662' &\equiv 201,8 \text{ m} \times 0,965 = 194,7 \text{ m, pour THOMMEN} \\ &= 197 \text{ m.} \end{aligned}$$

On voit ici combien il est dangereux de comparer directement les lectures brutes de deux altimètres employés simultanément.

Nous signalerons ici, en toute franchise, qu'il existe des cas qui ne sont pas aussi favorables que les précédents : mais du fait que de tels cas affectent un même ensemble de mesures nous incite à poursuivre ultérieurement leur étude.

A l'appui de notre thèse, nous mentionnerons pour terminer, que, sur un groupe de 212 mesures dans le Katanga, la comparaison des résultats (colonne 20) THOMMEN et WALLACE fournit une répartition des différences qui a un caractère nettement accidentel et qui conduit à conclure une erreur moyenne quadratique de 3 m pour chaque altimètre.

2.2.2. *Application de la correction d'humidité.*

Cette correction est calculée à l'aide de l'abaque *Table 10*. On peut constater, sur les exemples (col. 18 du tableau 6), qu'elle est loin d'être négligeable et que l'importance de la dénivelée influe sur son ordre de grandeur.

ANNEXE 1.

LA FORMULE DE LAPLACE — THÉORIE SUCCINCTE *.

1. LA FORMULE DE LAPLACE exprime la relation qui existe entre :

La différence d'altitude entre deux points ;
Les pressions atmosphériques en ces points.

2. RAPPEL DE TROIS LOIS DE PHYSIQUE.

2.1. *Loi de MARIOTTE.*

Comment se comporte une masse gazeuse lorsque, la température ne variant pas, la pression varie ?

A TEMPÉRATURE CONSTANTE :

Le volume d'un gaz est inversement proportionnel à la pression ;

Sa densité est proportionnelle à la pression.

État initial : p_0 (pression) ; v_0 (volume) ; Δ_0 (densité)

État final : p , v , Δ .

On a :

$$\boxed{\frac{p}{p_0} = \frac{v_0}{v} = \frac{\Delta}{\Delta_0}} \quad (1)$$

* D'après JORDAN-EGGERT, *Handbuch der Vermessungskunde* (Zweiter Band, zweiter Halbband).

2.2. *Loi de GAY-LUSSAC.*

Comment se comporte une masse gazeuse lorsque :
la pression ne variant pas, la température varie ?

A PRESSION CONSTANTE :

Le volume d'un gaz est proportionnel à la température.

État initial : v_0 à 0° C.

État final : v à t° C.

$$\boxed{v = v_0 (1 + \alpha t)} \quad (2)$$

avec : $\alpha = 0,003665$ ou $\frac{1}{273}$

2.3. *Loi de MARIOTTE-GAY-LUSSAC.*

Comment se comporte une masse gazeuse lorsque
la pression et la température varient ?

État initial : à 0° C, pour une pression p_0 , le volume
est v_0 , la densité est Δ_0 .

État final : à t° C, pour une pression p , le volume est
 v , la densité est Δ .

Considérant d'abord un état intermédiaire pour lequel
une variation de pression (p_0 à p), à température constan-
te 0° C, fait passer le volume de v à v' , la formule (1)
donne :

$$\frac{v'}{v_0} = \frac{p_0}{p} \text{ ou } v' = v_0 \cdot \frac{p_0}{p}.$$

Considérant ensuite l'état final pour lequel une varia-
tion de température (0° à t°), à pression constante p ,
fait passer le volume de v' à v , la formule (2) donne :

$$v = v' (1 + \alpha t)$$

ou

$$\boxed{v = v_0 \cdot \frac{p_0}{p} \cdot (1 + \alpha t)} \quad (3)$$

Quant à la densité Δ , la formule (1) :

$$\frac{v}{v_0} = \frac{\Delta_0}{\Delta}$$

introduite dans (3) donne :

$$\Delta = \Delta_0 \cdot \frac{p}{p_0} \cdot \frac{1}{1 + \alpha t} \quad (4)$$

3. LA FORMULE DE LAPLACE.

3.1. Dans ce qui suit, des rubriques intitulées « Commentaires » jalonnent l'exposé. Elles ont pour but d'attirer l'attention sur les points qui permettent de mieux situer combien les conditions pratiques du nivellement barométrique s'écartent des conditions théoriques d'établissement de la formule de LAPLACE.

3.2. *Exposé de base.*

On suppose une colonne d'air, de section unitaire. A l'altitude Z la pression atmosphérique est p ; à l'altitude $Z + dZ$ (dZ : accroissement infiniment petit) la pression a diminué de dp . La valeur de dp n'est autre que le poids de l'élément (dZ) de colonne d'air, soit :

$$dp = -\Delta \cdot g \cdot (dZ \times 1) \quad (5)$$

où Δ = densité de l'air,

g = accélération de pesanteur à l'altitude Z .

Remplaçant dans (5) Δ par sa valeur (4)

$$\Delta = \Delta_0 \cdot \frac{p}{p_0} \cdot \frac{1}{1 + \alpha t}$$

on obtient :

$$\frac{dp}{p} = -\Delta_0 \cdot \frac{1}{p_0} \cdot g \cdot \frac{1}{1 + \alpha t} \cdot dZ \quad (6)$$

Dès maintenant, on peut voir que l'intégration de (6), dans un intervalle fini d'altitude $\Delta Z = Z_2 - Z_1$, fournira une relation entre ΔZ et les pressions p_2 et p_1 aux extrémités de cet intervalle. Ce sera la formule de LAPLACE.

Commentaires. La formule de LAPLACE n'envisage que deux points situés sur une même verticale.

La réalité est tout autre !

Par la suite, la même remarque s'imposera, pour d'autres raisons. On se souviendra ainsi que la formule de LAPLACE est une « approximation » : elle représente, le moins mal possible, la réalité des levés sur le terrain.

3.3. *Intégration de l'équation (6).*

3.3.1. Avant d'intégrer l'équation (6), il importe d'examiner les coefficients autres que les variables p et Z .

a). *La température t* est en réalité fonction de l'altitude Z . Cette fonction est caractéristique d'un *type* d'atmosphère. Une atmosphère « standard » est une atmosphère qui représente le mieux l'atmosphère réelle. Elle est caractérisée par : des valeurs p_0 (par ex., 760 mm) et t_0 (par ex. 15°C) à l'altitude $Z = 0$; une loi de variation de t avec l'altitude ; une altitude limite au-dessus de laquelle la température reste constante. L'atmosphère C.I.N.A., par exemple, est une atmosphère standard [5].

Actuellement, au Congo belge, le Service Météorologique étudie une atmosphère standard qui se rapproche le plus possible de l'atmosphère réelle du Congo [6,7] ; elle diffère sensiblement de la C.I.N.A.

Introduire dans l'équation (6) une température t , fonction de l'altitude, compliquerait le problème de l'intégration, encore que cette fonction ne serait qu'une nouvelle approximation. Aussi, actuellement, se contente-t-on de considérer t constant et égal à la moyenne des températures aux deux stations.

Commentaires. Ici encore, on voit le caractère théorique de la formule de LAPLACE, surtout si l'on se souvient que les stations ne sont pas, en pratique, sur la même verticale.

En outre, quand on utilise des altimètres, qui sont des baromètres anéroïdes gradués en altitude, on ne perdra pas de vue que cette graduation est habituellement réalisée suivant une atmosphère standard, pour laquelle la température est souvent supposée constante, quelle que soit l'altitude.

b) La pesanteur g varie avec l'altitude Z suivant la loi

$$g = g'_0 \left(1 - \frac{2Z}{r} \right)$$

où g'_0 = pesanteur à l'altitude $Z = 0$ et à la latitude des stations (sur la même verticale)

r = rayon de la Terre.

D'autre part, g'_0 varie avec la latitude :

$$g_0 = g_0^{45} (1 - \beta \cdot \cos 2\varphi)$$

où g_0^{45} = pesanteur pour $\varphi = 45^\circ$ et $Z = 0$;

β = aplatissement de la Terre (0,00264).

c). Les deux coefficients

Δ_0 = densité de l'air à 0° sous la pression p_0

et p_0 = pression initiale

n'étant pas fonctions de p et Z , ils seront considérés après l'intégration de l'équation (6). (3.3.3.).

3.3.3. *Intégration.* L'équation (6) prend la forme suivante :

$$\frac{dp}{p} = - \frac{\Delta_0}{p_0} \cdot \frac{g'_0}{1 + at} \left(1 - \frac{2Z}{r} \right) \cdot dZ \quad (6)$$

L'intégrale du premier membre s'exprime comme suit :

$$\int \frac{d\phi}{\phi} = l\phi = \frac{1}{\mu} \cdot \log \phi + C^{te}$$

(μ = module des logarithmes décimaux).

L'intégrale du second membre s'exprime comme suit :

$$\int \left(1 - \frac{2Z}{r}\right) dZ = Z - \frac{Z^2}{r} + C^{te}.$$

L'intégration de (6') donne donc :

$$\frac{\log \phi}{\mu} = -\frac{\Delta_0}{\phi_0} \cdot \frac{g'_0}{1 + at} \left(Z - \frac{Z^2}{r}\right) + C^{te} \quad (7)$$

Afin de déterminer la constante, considérons :

La station haute, d'altitude Z_2 , de pression ϕ_2 ;

La station basse, d'altitude Z_1 , de pression ϕ_1 ;

La différence d'altitude $Z_2 - Z_1 = \Delta Z$.

Pour chacune des stations, (7) devient

$$\begin{cases} \frac{\log \phi_2}{\mu} = -\frac{\Delta_0}{\phi_0} \cdot \frac{g'_0}{1 + at} \left(Z_2 - \frac{Z_2^2}{r}\right) + C^{te} \\ \frac{\log \phi_1}{\mu} = -\frac{\Delta_0}{\phi_0} \cdot \frac{g_0}{1 + at} \left(Z_1 - \frac{Z_1^2}{r}\right) + C^{te} \end{cases}$$

En éliminant la constante, on obtient : (7|)

$$\frac{\Delta_0}{\phi_0} \cdot \frac{g'_0}{1 + at} \cdot (Z_2 - Z_1) \left[1 - \frac{Z_2 + Z_1}{r}\right] = \frac{\log \phi_1 - \log \phi_2}{\mu}$$

En remarquant que :

$$\frac{Z_2 + Z_1}{r} \cong \frac{2Z}{r} \text{ où } Z = \frac{Z_2 + Z_1}{2} = \text{altitude moyenne ;}$$

$$\frac{1}{1 - \frac{2Z}{r}} = 1 + \frac{2Z}{r} + \dots ;$$

$$\frac{1}{g'_0} = \frac{1}{g_0^{45}(1 - \beta \cos 2\varphi)} = \frac{1}{g_0^{45}} \cdot (1 + \beta \cos 2\varphi) ;$$

$$\Delta Z = Z_2 - Z_1 ;$$

la relation (7') devient :

$$\Delta Z = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{p_0}{\Delta_0} \cdot \frac{1}{g_0^{45}} \cdot (\log p_1 - \log p_2) \cdot (1 + at) \cdot (1 + \beta \cos 2\varphi) \cdot \left(1 + \frac{2Z}{r}\right) \quad (8)$$

3.3.3. *Forme définitive de la formule de LAPLACE.*

Pour arriver à la forme définitive de la formule de LAPLACE, il reste à étudier les deux coefficients p_0 et Δ_0 .

La valeur de la pression initiale p_0 est en quelque sorte conventionnelle ; elle est égale à 760 mm de mercure, pression à l'altitude $Z = 0$, à la latitude de 45° . On peut donc écrire, q étant la densité du mercure :

$$p_0 = 0,76 \times q \times g_0^{45}.$$

La formule (8) devient donc :

$$\Delta Z = \frac{0,76 \times q}{\mu} \cdot \frac{1}{\Delta_0} \cdot (\log p_1 - \log p_2) \cdot (1 + at) \cdot (1 + \beta \cos 2\varphi) \cdot \left(1 + \frac{2Z}{r}\right) \quad (9)$$

Quant à Δ_0 , c'est la densité de l'air, sous la pression p_0 , à 0°C . Il s'agit, non de l'air sec, mais d'un mélange d'air sec et de vapeur d'eau.

La densité de l'air sec, à 0°C , sous la pression $p_0 = 760$ mm, a, comme valeur :

$$D_0 = 0,00129277$$

La densité de la vapeur d'eau est liée à D_0 par la relation :

$$D'_0 = 0,623 \cdot D_0.$$

L'humidité de l'air est caractérisée par la tension actuelle de vapeur d'eau, autrement dit, une certaine pression e . La physique montre que l'on a finalement pour la densité Δ_0 de l'air humide, si p est la pression atmosphérique :

$$\Delta_0 = D_0 \left(1 - 0,377 \cdot \frac{e}{p} \right) \times 1,00021.$$

Introduisant cette valeur dans (9), et remarquant que

$$\frac{1}{1 - 0,377 \cdot \frac{e}{p}} \cong 1 + 0,377 \cdot \frac{e}{p}$$

on obtient finalement, après avoir remplacé les coefficients par leur valeur numérique :

$$\boxed{\Delta Z = 18.400 \cdot (\log p_1 - \log p_2) \cdot (1 + \alpha t) \left(1 + 0,377 \cdot \frac{e}{p} \right) (1 + \beta \cos 2 \varphi) \left(1 + \frac{2Z}{r} \right)} \quad (10)$$

Rappelons que :

18.400 contient :

$$p_0 = 0,760$$

$$\mu = 0,4342945$$

$$q = 13,59593$$

$$D_0 = 0,00129277$$

1,0021 facteur de réduction pour la présence de CO_2 dans l'air.

$$\alpha = \frac{1}{273}$$

t = température moyenne ;

e = tension actuelle moyenne de vapeur d'eau ;

p = pression moyenne $\frac{p_1 + p_2}{2}$;

β = aplatissement 0,00264 ;

φ = latitude (moyenne des deux stations, dans la pratique) ;

Z = altitude moyenne des deux stations ;

r = 6.370.000 m.

Commentaires. La formule de LAPLACE fait intervenir la différence d'altitude ΔZ . Elle donnera donc lieu à une méthode de nivellement relatif ; sauf dans le cas — exceptionnel — où la station de départ est à l'altitude $Z_1 = 0$.

ANNEXE 2.

LES CONDITIONS D'APPLICATION AU CONGO BELGE DE LA FORMULE DE LAPLACE

1. RAPPEL :

$$\Delta Z = Z_2 - Z_1 = 18.400 (\log p_1 - \log p_2) (1 + at) \\ (1 + 0,377 \frac{e}{p}) (1 + \beta \cos 2\varphi) (1 + \frac{2Z}{r}) \quad (10)$$

où $e = \frac{e_1 + e_2}{2}$; $p = \frac{p_1 + p_2}{2}$; $Z = \frac{Z_1 + Z_2}{2}$;

$$\varphi = \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}.$$

L'objet de la présente annexe est d'examiner l'influence des différents facteurs de la formule [10] sur la différence d'altitude cherchée ($Z_2 - Z_1$).

2. INFLUENCE DE L'ALTITUDE MOYENNE Z .

La formule]10] peut s'écrire :

$$\Delta Z = \Delta Z' \times (1 + \frac{2Z}{r}).$$

Dans le cas défavorable où $Z = 3.000$ m.

$$1 + \frac{2Z}{r} = 1 + \frac{6.000}{6.370.000} \approx 1 + \frac{1}{1.000}.$$

Négliger le terme d'altitude $(1 + \frac{2Z}{r})$ entraîne une erreur sur ΔZ de 1 ‰. (Pour $\Delta Z = 1000$ m, l'erreur est de 1 m).

D'autre part, Z ne doit être connue que très approximativement ; en effet, en première approximation : $d\Delta Z = \Delta Z' \times \frac{2}{r} \cdot dZ$. Ainsi pour une approximation dZ , sur Z , de 1.000 m (!) :

$$d\Delta Z = \Delta Z' \cdot \frac{2.000}{6.370.000} \approx \frac{\Delta Z'}{3000}$$

$$\text{(Pour } \Delta Z' = 1000 \text{ m, } d\Delta Z = \frac{1}{3} \text{ m} = 0,33 \text{ m).}$$

Conclusion : en pratique, on néglige le terme $(1 + \frac{2Z}{r})$; au demeurant, il y a intérêt à mesurer des différences d'altitudes petites.

3. INFLUENCE DE LA LATITUDE φ .

La formule (10) peut s'écrire :

$$\Delta Z = \Delta Z'' \times (1 + \beta \cos 2\varphi).$$

Dans le cas défavorable où $\varphi = 0^\circ$ (équateur)

$$1 + \beta \cos 2\varphi = 1 + \beta = 1 + 0,00264 \approx 1 + 0,003.$$

Négliger le terme en latitude $(1 + \beta \cos 2\varphi)$ entraîne une erreur sur ΔZ de 3 ‰ (Ainsi pour $h = 333$ m, l'erreur serait de 1 m). D'autre part φ peut être connu avec une grossière approximation ($d\Delta Z = -\Delta Z'' \cdot 2\beta \cdot \sin 2\varphi \cdot d\varphi$).

Conclusion : en pratique, on néglige le terme $(1 + \beta \cos 2\varphi)$. Au demeurant, il y a intérêt à mesurer des différences d'altitudes petites (< 300 m).

4. INFLUENCE DE L'HUMIDITÉ.

La formule (10) peut s'écrire :

$$\Delta Z = \Delta Z''' \left(1 + 0,377 \frac{e}{p} \right).$$

On peut calculer, dans les cas normaux du climat congolais (humidité-pression), que le terme en humidité influe sur la différence d'altitude de 1 à 2 %.

Conclusion : A moins de mesurer des différences d'altitudes inférieures à 50 ou 100 m, il y a lieu de tenir compte du terme en humidité si l'on cherche à tirer le maximum de précision du nivellement barométrique.

5. INFLUENCE DE LA PRÉCISION DE MESURE DE LA PRESSION.

La formule (10), simplifiée, peut s'écrire :

$$\Delta Z = Z_2 - Z_1 = 18.400 \cdot (\log p_1 - \log p_2)(1 + at) \quad (11)$$

En différenciant par rapport à p_1 et p_2 , on a :

$$\begin{aligned} d \Delta Z_1 &= \mu \times 18.400 \times \frac{dp_1}{p_1} (1 + at) \\ d \Delta Z_2 &= -\mu \times 18.400 \times \frac{dp_2}{p_2} (1 + at) \end{aligned}$$

Une erreur dp_1 (dp_2) de $\pm 0,1$ mm, entraîne une erreur, sensiblement constante, de l'ordre du mètre.

Conclusions.

1. *Emploi du baromètre à mercure* : il y a lieu de faire les mesures avec le plus grand soin.

2. *Emploi d'un altimètre* : il y a lieu d'utiliser un alti-

mètre de bonne qualité, donnant une précision de lecture inférieure ou égale au mètre.

3. *Dans le cas des observations « itinérantes » :*

L'exploitation des observations de la marée barométrique journalière est une cause importante de diminution de précision du nivellement barométrique. On peut pallier cet inconvénient de deux façons :

a) Faire des mesures rapprochées dans le temps ; si les deux points dont on recherche la différence d'altitude entraînent un parcours de longue durée, il y aura intérêt à lever des points intermédiaires.

b) Quand cela est possible, faire les observations aux heures où la marée barométrique présente un palier (pas de variation de pression).

6. INFLUENCE DE LA PRÉCISION DE MESURE DE LA TEMPÉRATURE.

De la formule (11) on tire :

$$d \Delta Z = \Delta Z' \times \alpha \times dt$$

$$\text{Pour } dt = \pm 1^\circ \quad d \Delta Z \cong 0,4 \% \cdot \Delta Z'$$

Ce résultat est plus théorique que pratique : on a vu l'approximation introduite lorsqu'il s'est agi d'introduire la température dans l'élaboration de la formule de LAPLACE (Annexe 1 — 3.3.1).

Conclusion : La mesure de la température sera faite avec soin. Il y a intérêt de mesurer des différences d'altitudes plutôt petites (< 250 m).

7. CONCLUSION GÉNÉRALE.

Les corrections dues à l'altitude et à la latitude sont négligeables dans la très grande majorité des cas pratiques.

Il faut mesurer des différences d'altitudes d'un petit ordre de grandeur : en dessous de 50 à 100 m, on se trouve dans le cas le plus favorable.

Dans le cas des observations « itinérantes », l'intervalle de temps séparant les stations doit être court.

Il faut, chaque fois que possible, effectuer le nivellement barométrique aux heures des paliers de la marée barométrique journalière.

ANNEXE 3.

LISTE DES STATIONS DU SERVICE MÉTÉOROLOGIQUE DU CONGO BELGE

La liste qui suit donne la situation des stations du Service météorologique au 31 octobre 1957. Comme des modifications interviennent dans l'équipement de ces stations, il est prudent, avant d'entamer des mesures nécessitant l'utilisation de celles-ci, de demander confirmation au Service météorologique à Léopoldville-Binza.

Stations météo équipées de baromètre à mercure et de barographe :

Albertville	Kabalo
Coquilhatville	Kabinda
Bukavu	Kikwit
Bunia	Kongolo
Élisabethville	Lisala
Inongo	Lodja
Kamina base	Lomela
Kindu	Lubutu
Léopoldville	Bukama
Libenge	Kasenga
Luluabourg	Kolwezi
Stanleyville	Kabongo
Bafwasende	Luputa
Banana	Kasongo
Basoko	Kigali
Boende	Aba
Buta	Niangara
Lukolela	Aketi
Banningville	Bondo
Butembo	Bumba
Goma	Gemena

Lusambo	Tshikapa
Mahagi	Sentiry
Manono	Usumbura
Mitwaba	Wamba
Monkoto	Watsa
Paulis	Baudouinville
Port-Francqui	

Stations météo équipées du baromètre à mercure seulement :

Basankusu	Opala
Kapanga	Doldo
Bakwanga	Banalia
Kasongo	Opienge
Lunda	Ikela
Kenge	Kahemba
Matadi	Kipembele
Sandoa	Luozi

ANNEXE 4.

RÉDUCTION DES LECTURES D'UN ALTIMÈTRE DANS UNE ATMOSPHÈRE A 0° : APPLICATION A L'ALTIMÈTRE THOMMEN 3B4.

1. La graduation altimétrique du Thommen 3B4 correspond à l'atmosphère standard C.I.N.A., pour laquelle la température varie avec l'altitude suivant la loi

$$T = 15^{\circ} - 0,0065 Z$$

Z étant l'altitude exprimée en mètres.

2. Il en résulte qu'une différence d'altitude provenant de lectures *brutes* faites en deux stations, soit

$$(Z_2) - (Z_1)$$

représente la hauteur d'une colonne d'air sec de températures variables, comprises entre :

$$T_1 = 15 - 0,0065 Z_1 \text{ et } T_2 = 15 - 0,0065 Z_2.$$

3. Si l'on désire, soit comparer cette différence d'altitudes avec celle obtenue avec un autre altimètre, soit appliquer la correction de température (2^{me} terme de la formule de LAPLACE)

$$1 + at$$

il faut ramener l'observation brute $(Z_2) - (Z_1)$ à ce qu'elle aurait été pour une température de référence que nous choisirons égale à 0°.

4. La méthode ci-après n'est pas tout à fait rigoureuse, mais son application aux levés barométriques dans la

Cuvette et dans le Graben a révélé son efficacité pratique. On peut concevoir d'autres méthodes, soit plus rigoureuses, soit plus élégantes ; si nous n'avons pas eu le temps de les rechercher, nous comptons néanmoins en poursuivre l'étude.

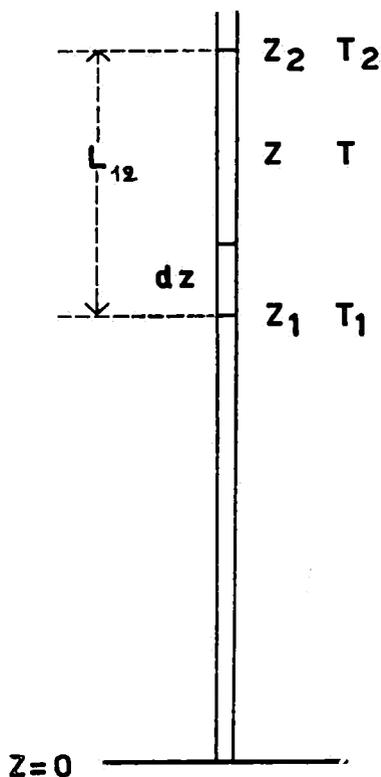


FIG. 12. — Réduction de la lecture altimétrique dans une atmosphère à 0°C.

5. Considérons, à l'altitude Z_1 , un élément infiniment petit (dZ) de colonne d'air, provenant de lectures brutes à l'altimètre. A 0°C cet élément (dZ) deviendrait

$$dZ_0 = \frac{(dZ)}{1 + \alpha T} \quad (1)$$

où T est une variable liée à Z par la fonction :

$$T = T_1 - 0,0065 (Z - Z_1) \quad (2)$$

Voyons ce que devient la relation (1) pour un élément fini

$$L_{12} = Z_2 - Z_1,$$

c'est-à-dire pour une différence brute d'altitudes entre deux stations 1 et 2.

Des équations (1) et (2) on tire :

$$dZ_0 = \frac{(dZ)}{1 + \alpha[T_1 - 0,0065 (Z - Z_1)]}$$

Posons :

$$\begin{aligned} 1 + \alpha T_1 &= A \\ \alpha \times 0,0065 &= a \\ l &= Z - Z_1, \quad \text{avec } dZ = dl; \end{aligned}$$

On a :

$$\begin{aligned} dZ_0 &= \frac{dl}{A - al} \\ (Z_2 - Z_1)_0 &= \int_1^2 \frac{dl}{A - a \cdot dl} = \left[-\frac{1}{a} \log_e (A - al) \right]_1^2 \\ &= -\frac{2,30259}{a} \left[\log (A - al) \right]_1^2 \\ &= \frac{2,30259}{a} \left(\log A - \log (A - a L_{12}) \right) \end{aligned}$$

où, rappelons-le, L_{12} est la différence des lectures brutes à l'altimètre.

On a calculé cette dernière formule pour les valeurs suivantes :

$T = 15^\circ$	correspondant à $Z_1 =$	0 m	$A = 1,054975 ;$
10°	»	769 m	$= 1,036650 ;$
5°	»	1.538 m	$= 1,018325 ;$
0°	»	2.308 m	$= 1,000000 ;$

Pour chacune de ces altitudes, on a considéré des valeurs L

$L = 50 \text{ m} ;$	$aL \times 10^5 = 119,1$
$100 \text{ m} ;$	$= 238,2$
$200 \text{ m} ;$	$= 476,4$
$500 \text{ m}.$	$= 1.191,0.$

Pour chaque résultat, on a calculé

$$k = \frac{(Z_2 - Z_1)_0}{(Z_2 - Z_1)}$$

Reportés en graphique, les points de même valeur L sont pratiquement en ligne droite. On n'a laissé subsister que les droites $L = 50, 200$ et 500 m .

En vue de l'utilisation pratique, nous ferons remarquer :

Les coefficients k se différencient de 0,001 par ca 100 m de différence d'altitudes ; l'écart maximum pour k , de 50 à 500 m, est de 0,005 à 0,006. Si on adopte le k moyen, on commet une erreur de 0,003 (3 ‰) maximum, soit sur 500 m de dénivelée : 1,5 m. Si on applique la formule $Z_0 = \frac{Z}{1 + aT}$, pour T correspondant à Z_1 (dans l'atmosphère C.I.N.A.), on trouve des k correspondant à ceux de la formule utilisée plus haut, mais pour les faibles dénivelées seulement, ce qui est normal.

Si on applique la formule $Z_0 = \frac{(Z)}{1 + aT^m}$ où $T^m = \frac{15 + T}{2}$, ou si l'on applique la formule utilisée avec $Z =$

O comme origine, on trouve des k nettement différents de ceux de notre graphique : cela est aussi normal, car cette hypothèse ne répond pas à la réalité ; par exemple : si on se trouve à env. 2.300 m de la C.I.N.A., $T = 0^\circ$;

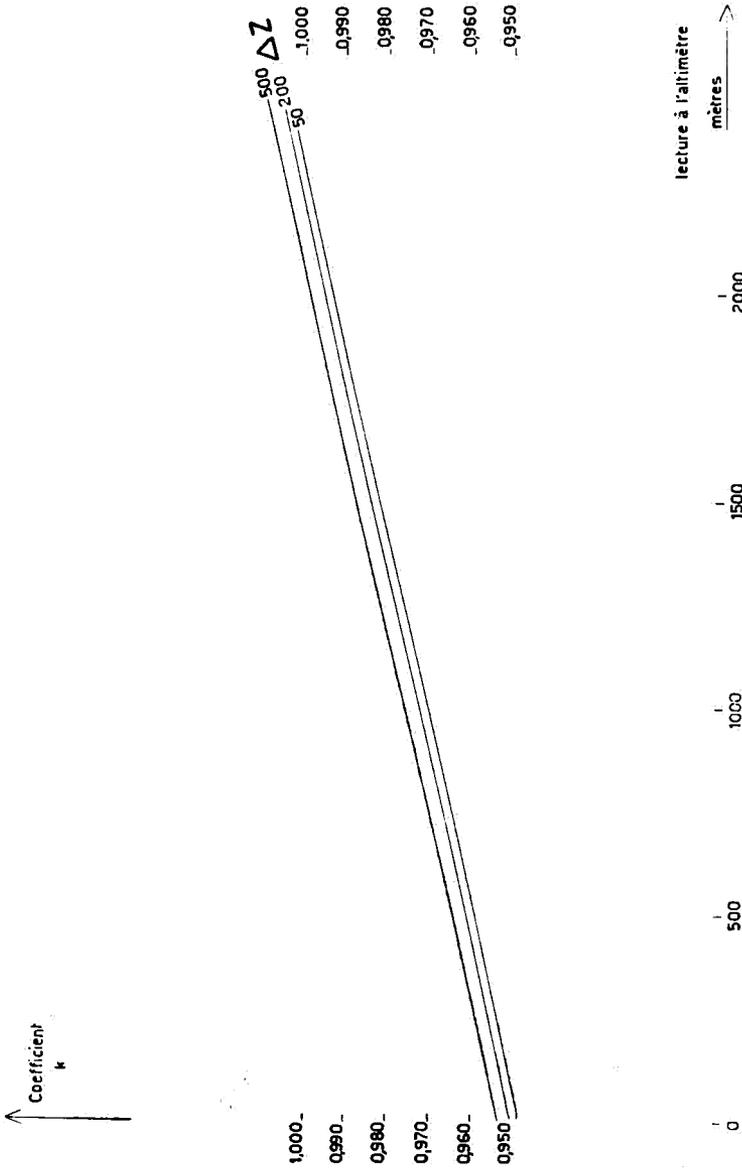


FIG. 13. — Altimètre Thommen 3 B4. Réduction des lectures à 0°C

or, le calcul à partir de $\frac{15 + 0}{2} = 7^{\circ}5$ ne correspond pas à la colonne d'air du $(Z_2 - Z_1)$ lu, qui se trouve théoriquement à 0° .

6. Conclusion.

6.1. La méthode que nous avons suivie, et dont le résultat est figuré par le graphique ci-contre (*figure 13*), est celle qui se rapproche le mieux de la réalité, d'autant mieux que les dénivelées sont petites.

6.2. Le graphique ci-contre (*figure 13*) donne, pour toute lecture Z_1 à l'altimètre THOMMEN 3B4, un coefficient k applicable à une dénivelée de 50 à 500 m au-dessus de cette lecture Z_1 .

BIBLIOGRAPHIE

- [1] N. VANDER ELST, La pression au Congo belge — Fascicule 2 — *Mémoires in 8° A. R. S. C.*, Cl. des Sc. techn. N. S., Tome II, fasc. 2, 1955.
- [2] L. JONES, Note introductive sur les levés gravimétriques au Congo belge et au Ruanda-Urundi (*Bull. des Séances A. R. S. C.*, N. S., II, 1956, 3, pp. 427-461).
- [3] J. HURAUULT, Note sur l'emploi du nivellement barométrique pour la stéréopréparation dans les territoires d'outre-mer. (Institut Géographique National, Paris, décembre 1946).
- [4] D. R. CRONE, Height by Aneroid Barometer (*Revue Empire Survey*, July 1948).
- [5] Smithsonian Meteorological Tables (City of Washington. Published by the Smithsonian Institution).
- [6] P. V. GROSJEAN., L'atmosphère équatoriale moyenne au-dessus de Léopoldville (*Bull. du Serv. Météor. du Congo belge*, n° 2, fév. 1951).
- [7] G. DUPONT et P. V. GROSJEAN. Atmosphère Standard provisoire pour le Congo. (*Bull. du Serv. Météor. du Congo belge*, n° 8, juillet 1952).
- [8] A. H. FAULDS. An application of precise barometric altimetry to aerial photogrammetry (Syracuse University, New York, january 1945, *Bull.* n° 69).
- [9] Warren F. HARING. Improvising the accuracy of altimetry. (*Surveying and Mapping*, July-September, 1955).
- [10] JORDAN-EGGERT, Handbuch der Vermessungskunde (Zweite band-Zweiter Halbband). (Stuttgart, J. B. Metzlersche Verlagsbuchhandlung, 1933).
- [11] C. H. GOULIER, Sur la précision des nivellements topographiques et barométriques — Note sur les erreurs de la méthode barométrique (*Annuaire du Club Alpin*, 1879).
- [12] DESMOND O'CONNOR, The use of sensitive pressure devices in surveying (*Empire Survey Review* nos 103-104-105 et suivants. Vol. XIV, 1957).

TABLE 7

RÉDUCTION DU BAROMÈTRE À 0°

Pression lue au baromètre

Température lue au baromètre	600	610	620	630	640	650	660	670	680	690	700	710	720	730	740	750	760	770	780	Température lue au baromètre
+ 5,0	- 0,49	- 0,50	- 0,51	- 0,51	- 0,52	- 0,53	- 0,54	- 0,55	- 0,56	- 0,56	- 0,57	- 0,58	- 0,59	- 0,60	- 0,60	- 0,61	- 0,62	- 0,63	- 0,64	+ 5,0
5,5	0,54	0,55	0,56	0,57	0,57	0,58	0,59	0,60	0,61	0,62	0,63	0,64	0,65	0,66	0,66	0,67	0,68	0,69	0,70	+ 5,5
6,0	0,59	0,60	0,61	0,62	0,63	0,64	0,65	0,66	0,67	0,68	0,69	0,70	0,71	0,71	0,72	0,73	0,74	0,75	0,76	6,0
6,5	0,64	0,65	0,66	0,67	0,68	0,69	0,70	0,71	0,72	0,73	0,74	0,75	0,76	0,77	0,79	0,80	0,81	0,82	0,83	6,5
7,0	0,69	0,70	0,71	0,72	0,73	0,74	0,75	0,77	0,78	0,79	0,80	0,81	0,82	0,83	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89	7,0
7,5	0,73	0,75	0,76	0,77	0,78	0,80	0,81	0,82	0,83	0,84	0,86	0,87	0,88	0,89	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	7,5
8,0	0,78	0,80	0,81	0,82	0,84	0,85	0,86	0,87	0,89	0,90	0,91	0,93	0,94	0,95	0,97	0,98	0,99	1,01	1,02	8,0
8,5	0,83	0,85	0,86	0,87	0,89	0,90	0,92	0,93	0,94	0,96	0,97	0,98	1,00	1,01	1,03	1,04	1,05	1,07	1,08	8,5
9,0	0,88	0,90	0,91	0,92	0,94	0,95	0,97	0,98	1,00	1,01	1,03	1,04	1,06	1,07	1,09	1,10	1,12	1,13	1,15	9,0
+ 9,5	- 0,93	- 0,95	- 0,96	- 0,98	- 0,99	- 1,01	- 1,02	- 1,04	- 1,05	- 1,07	- 1,08	- 1,10	- 1,12	- 1,13	- 1,15	- 1,16	- 1,18	- 1,19	- 1,21	+ 9,5
+ 10,0	- 0,98	- 0,99	- 1,01	- 1,03	- 1,04	- 1,06	- 1,08	- 1,09	- 1,11	- 1,13	- 1,14	- 1,16	- 1,17	- 1,19	- 1,21	- 1,22	- 1,24	- 1,26	- 1,27	+ 10,0
10,5	1,03	1,04	1,06	1,08	1,09	1,11	1,13	1,15	1,16	1,18	1,20	1,22	1,23	1,25	1,27	1,28	1,30	1,32	1,34	10,5
11,0	1,08	1,09	1,11	1,13	1,14	1,17	1,18	1,20	1,22	1,24	1,26	1,27	1,29	1,31	1,33	1,35	1,36	1,38	1,40	11,0
11,5	1,13	1,14	1,16	1,18	1,19	1,22	1,24	1,26	1,28	1,29	1,31	1,33	1,35	1,37	1,39	1,41	1,43	1,44	1,46	11,5
12,0	1,17	1,19	1,21	1,23	1,24	1,27	1,29	1,31	1,33	1,35	1,37	1,39	1,41	1,43	1,45	1,47	1,49	1,51	1,53	12,0
12,5	1,22	1,24	1,26	1,28	1,29	1,32	1,34	1,37	1,39	1,41	1,43	1,45	1,47	1,49	1,51	1,53	1,55	1,59	1,61	12,5
13,0	1,27	1,29	1,31	1,34	1,35	1,38	1,40	1,42	1,44	1,46	1,48	1,50	1,53	1,55	1,57	1,59	1,61	1,63	1,65	13,0
13,5	1,32	1,34	1,36	1,39	1,40	1,43	1,45	1,47	1,50	1,52	1,54	1,56	1,58	1,61	1,63	1,65	1,67	1,69	1,72	13,5
14,0	1,37	1,39	1,41	1,44	1,45	1,48	1,51	1,53	1,55	1,57	1,60	1,62	1,64	1,67	1,69	1,71	1,73	1,76	1,78	14,0
+ 14,5	- 1,42	- 1,44	- 1,47	- 1,49	- 1,50	- 1,54	- 1,56	- 1,58	- 1,61	- 1,63	- 1,65	- 1,68	- 1,70	- 1,73	- 1,75	- 1,77	- 1,80	- 1,82	- 1,84	+ 14,5
+ 15,0	- 1,47	- 1,49	- 1,52	- 1,54	- 1,56	- 1,59	- 1,61	- 1,64	- 1,66	- 1,69	- 1,71	- 1,74	- 1,76	- 1,78	- 1,81	- 1,83	- 1,86	- 1,88	- 1,91	+ 15,0
15,5	1,52	1,54	1,57	1,59	1,62	1,64	1,67	1,69	1,72	1,74	1,77	1,79	1,82	1,84	1,87	1,89	1,92	1,94	1,97	15,5
16,0	1,56	1,59	1,62	1,64	1,67	1,69	1,72	1,75	1,77	1,80	1,82	1,85	1,88	1,90	1,93	1,96	1,98	2,01	2,03	16,0
16,5	1,61	1,64	1,67	1,69	1,72	1,75	1,77	1,80	1,83	1,85	1,88	1,91	1,94	1,97	1,99	2,02	2,04	2,07	2,10	16,5
17,0	1,66	1,69	1,72	1,74	1,77	1,80	1,83	1,86	1,88	1,91	1,94	1,97	2,00	2,02	2,05	2,08	2,10	2,13	2,16	17,0
17,5	1,71	1,74	1,77	1,80	1,82	1,85	1,88	1,91	1,94	1,97	2,00	2,02	2,05	2,08	2,11	2,14	2,17	2,20	2,22	17,5
18,0	1,76	1,79	1,82	1,86	1,88	1,91	1,93	1,96	1,99	2,02	2,05	2,08	2,11	2,14	2,17	2,20	2,23	2,26	2,29	18,0
18,5	1,81	1,84	1,87	1,90	1,93	1,96	1,99	2,02	2,05	2,08	2,11	2,14	2,17	2,20	2,23	2,26	2,29	2,32	2,35	18,5
19,0	1,86	1,89	1,92	1,95	1,98	2,01	2,04	2,07	2,10	2,13	2,17	2,20	2,23	2,26	2,29	2,32	2,35	2,38	2,41	19,0
+ 19,5	- 1,91	- 1,94	- 1,97	- 2,00	- 2,08	- 2,06	- 2,10	- 2,13	- 2,16	- 2,19	- 2,22	- 2,25	- 2,29	- 2,32	- 2,35	- 2,38	- 2,41	- 2,44	- 2,48	+ 19,5
+ 20,0	- 1,95	- 1,99	- 2,02	- 2,05	- 2,08	- 2,12	- 2,15	- 2,18	- 2,21	- 2,25	- 2,28	- 2,31	- 2,34	- 2,38	- 2,41	- 2,44	- 2,47	- 2,51	- 2,54	+ 20,0
20,5	2,00	2,04	2,07	2,10	2,14	2,17	2,20	2,24	2,27	2,30	2,34	2,37	2,40	2,44	2,47	2,50	2,54	2,57	2,60	20,5
21,0	2,05	2,09	2,12	2,15	2,19	2,22	2,26	2,29	2,32	2,36	2,39	2,43	2,46	2,50	2,53	2,56	2,60	2,63	2,67	21,0
21,5	2,10	2,13	2,17	2,20	2,24	2,27	2,31	2,34	2,38	2,41	2,45	2,48	2,52	2,55	2,59	2,62	2,66	2,69	2,73	21,5
22,0	2,15	2,18	2,22	2,26	2,29	2,33	2,36	2,40	2,43	2,47	2,51	2,54	2,58	2,61	2,65	2,69	2,72	2,76	2,79	22,0
22,5	2,20	2,23	2,27	2,31	2,34	2,38	2,42	2,45	2,49	2,53	2,56	2,60	2,64	2,67	2,71	2,75	2,78	2,82	2,86	22,5
23,0	2,25	2,28	2,32	2,36	2,40	2,43	2,47	2,51	2,54	2,58	2,62	2,66	2,69	2,73	2,77	2,81	2,84	2,88	2,92	23,0
23,5	2,29	2,33	2,37	2,41	2,45	2,49	2,52	2,56	2,60	2,64	2,68	2,71	2,75	2,79	2,83	2,87	2,91	2,94	2,98	23,5
24,0	2,34	2,38	2,42	2,46	2,50	2,54	2,58	2,62	2,66	2,69	2,73	2,77	2,81	2,85	2,89	2,93	2,97	3,01	3,04	24,0
+ 24,5	- 2,39	- 2,43	- 2,47	- 2,51	- 2,55	- 2,59	- 2,63	- 2,67	- 2,71	- 2,75	- 2,79	- 2,83	- 2,87	- 2,91	- 2,95	- 2,99	- 3,03	- 3,07	- 3,11	+ 24,5
+ 25,0	- 2,44	- 2,48	- 2,52	- 2,56	- 2,60	- 2,64	- 2,68	- 2,72	- 2,77	- 2,81	- 2,84	- 2,89	- 2,93	- 2,97	- 3,01	- 3,05	- 3,09	- 3,13	- 3,17	+ 25,0
25,5	2,49	2,53	2,57	2,61	2,65	2,70	2,74	2,78	2,82	2,86	2,90	2,94	2,99	3,03	3,07	3,11	3,15	3,19	3,24	25,5
26,0	2,54	2,58	2,62	2,66	2,71	2,75	2,79	2,84	2,88	2,92	2,96	3,00	3,04	3,09	3,13	3,17	3,21	3,26	3,30	26,0
26,5	2,59	2,63	2,67	2,71	2,76	2,80	2,84	2,89	2,93	2,97	3,02	3,06	3,10	3,15	3,19	3,23	3,28	3,32	3,36	26,5
27,0	2,63	2,68	2,72	2,77	2,81	2,85	2,90	2,94	2,99	3,03	3,07	3,12	3,16	3,20	3,25	3,29	3,34	3,38	3,42	27,0
27,5	2,68	2,73	2,77	2,82	2,86	2,91	2,95	3,00	3,04	3,09	3,13	3,17	3,22	3,26	3,31	3,35	3,40	3,44	3,49	27,5
28,0	2,73	2,78	2,82	2,87	2,91	2,96	3,00	3,05	3,10	3,14	3,19	3,23	3,28	3,32	3,37	3,41	3,46	3,51	3,55	28,0
28,5	2,78	2,83	2,87	2,92	2,97	3,01	3,06	3,10	3,15	3,19	3,24	3,28	3,33	3,37	3,42	3,46	3,51	3,55	3,60	28,5
29,0	2,83	2,88	2,92	2,97	3,02	3,06	3,11	3,16	3,20	3,25	3,30	3,34	3,39	3,43	3,47	3,52	3,57	3,61	3,66	29,0
+ 29,5	- 2,88	- 2,92	- 2,97	- 3,02	- 3,07	- 3,12	- 3,16	- 3,21	- 3,26	- 3,31	- 3,36	- 3,40	- 3,45	- 3,50	- 3,55	- 3,60	- 3,64	- 3,69	- 3,74	+ 29,5
+ 30,0	- 2,93	- 2,97	- 3,02	- 3,07	- 3,12	- 3,17	- 3,22	- 3,27	- 3,32	3,36	3,41	3,46	3,51	3,56	3,61	3,66	3,71	3,75	3,80	+ 30,0
30,5	2,97	3,02	3,07	3,12	3,17	3,22	3,27	3,32	3,37	3,42	3,47	3,52	3,57	3,62	3,67	3,72	3,77	3,82	3,87	30,5
31,0	3,02	3,07	3,12	3,17	3,22	3,27	3,32	3,37	3,43	3,48	3,53	3,58	3,63	3,68	3,73	3,78	3,83	3,88	3,93	31,0
31,5	3,07	3,12	3,17	3,22	3,28	3,33	3,38	3,43	3,48	3,54	3,59	3,64	3,69	3,74	3,79	3,84	3,89	3,94	3,99	31,5
32,0	3,12	3,17	3,22	3,28	3,33	3,38	3,43	3,48	3,54	3,59	3,64	3,70	3,75	3,80	3,85	3,90	3,95	4,00	4,05	32,0
32,5	3,17	3,22	3,27	3,33	3,38	3,43	3,48	3,54	3,59	3,64	3,70	3,75	3,80	3,85	3,90	3,95	4,00	4,05	4,10	32,5
33,0	3,22	3,27	3,32	3,38	3,43	3,48	3,54	3,59	3,64	3,70	3,75	3,81	3,86	3,91	3,97	4,02	4,07	4,13	4,18	33,0
33,5	3,26	3,32	3,37	3,43	3,48	3,54	3,59	3,65	3,70	3,75	3,81	3,86	3,92	3,97	4,03	4,08	4,13	4,19	4,24	33,5
34,0	3,31	3,37	3,42	3,48	3,53	3,59	3,64	3,70	3,75	3,81	3,87	3,92	3,98	4,03	4,09	4,14	4,20	4,25	4,31	34,0
+ 34,5	- 3,36	- 3,42	- 3,47	- 3,53	- 3,59	- 3,64	- 3,70	- 3,75	- 3,81	- 3,87	- 3,92	- 3,98	- 4,03	- 4,09	- 4,15	- 4,20	- 4,26	- 4,31	- 4,37	+ 34,5
+ 35,0	- 3,41	- 3,47	- 3,52	- 3,58	- 3,64	- 3,69	- 3,75	- 3,81	- 3,86	- 3,92	- 3,98	- 4,03	- 4,09	- 4,15						

TABLE DES TABLEAUX ET GRAPHIQUES

1. Calcul de l'altitude d'un point par comparaison à 3 postes enregistreurs	32
2. Observations itinérantes : programme des opérations	35
3. Feuille de mesures et calculs : altimètre WALLACE-TIERNAN	36
4. Feuille de mesures et calculs : altimètre THOMMEN	38
5. Comparaison des résultats du nivellement trigonométrique et du nivellement barométrique	39
6. Application du coefficient k et de la correction d'humidité ..	42
7. Réduction du baromètre à 0°	66
8. Correction aux lectures barométriques pour l'altitude et la latitude	69
9. Altimètre WALLACE-TIERNAN : correspondance altitude- pression et correction de température de l'air	69
10. Correction d'humidité	70
11. Conversion des millibars en mm Hg	71
12. Conversion des pieds en mètres	72
13. Conversion des degrés C en degrés F.	73

TABLE DES ILLUSTRATIONS

1. Principe du nivellement relatif	7
2. Mode de levé ; 1 ^{er} cas : réseau de base	13
3. Mode de levé ; 1 ^{er} cas : réseau de détail	14
4. Mode de levé ; 2 ^o cas	15
5. Baromètre à mercure Salmoiraghi, type Fortin de campagne	18
6. Baromètre à mercure Salmoiraghi : détails	19
7. Protection du tube du baromètre	20
8. Altimètre Wallace and Tiernan Mod FA 112	24
9. Altimètre Thommen 3B4	24
10. Altimètre Thommen 3B4	24
11. Dépouillement du barogramme	29
12. Réduction de la lecture altimétrique dans une atmosphère à 0°C	61
13. Altimètre Thommen 3B4 : réduction des lectures à 0°C....	64
Planches 1 et 2 : Abaques pour la formule de LAPLACE sim- plifiée (Extrait de [3]. J. HURAUULT)	<i>in fine</i>
Planche 3 : Abaque pour la détermination de la tension de vapeur d'eau. (Extrait de [3] J. HU- RAULT)	<i>id.</i>
Carte 1 : Réseau général (Extrait des travaux Remina- Mission Cuvette).	<i>id.</i>
Carte 2 : Réseau de détail (Extrait des travaux Remi- na-Mission Cuvette).	<i>id.</i>

TABLE 8
Correction d'altitude

0 m	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500
-0,00 mm	-0,02	-0,03	-0,04	-0,06	-0,07	-0,08	-0,10	-0,11	-0,12	-0,13	-0,14	-0,15	-0,16	-0,18	-0,19

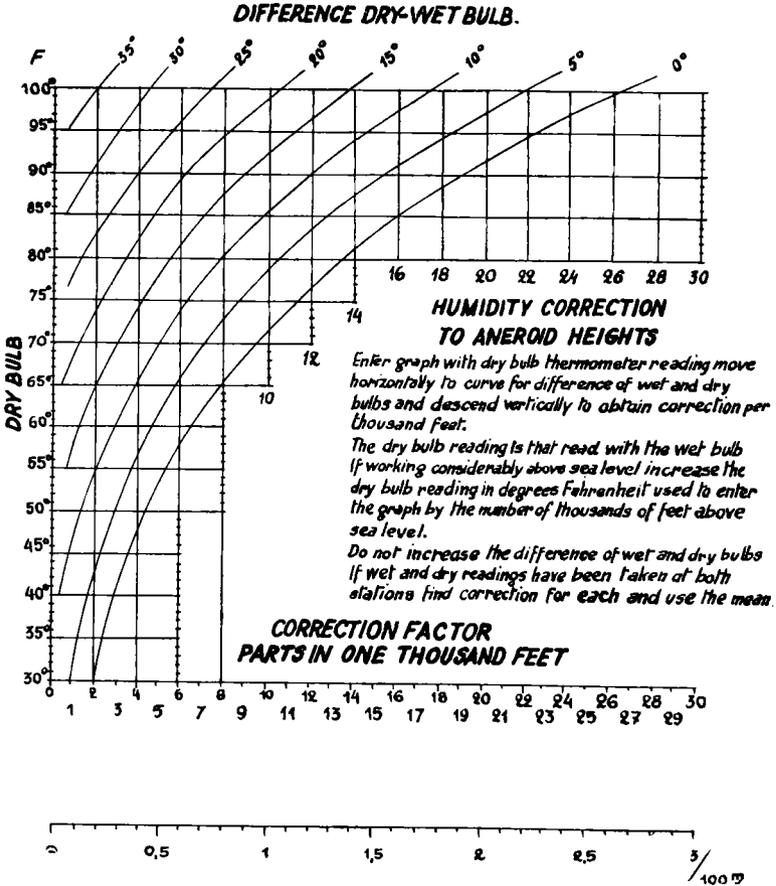
Correction de latitude

Latitude	Pression en mm Hg														
	600	620	640	660	680	700	710	720	730	740	750	760			
0°	1,55	1,61	1,66	1,71	1,76	1,81	1,84	1,86	1,89	1,92	1,94	1,97			
2°	1,55	1,60	1,65	1,71	1,76	1,81	1,83	1,86	1,89	1,91	1,94	1,96			
4°	1,54	1,59	1,64	1,69	1,74	1,80	1,82	1,85	1,87	1,90	1,92	1,95			
6°	1,52	1,57	1,62	1,67	1,72	1,77	1,80	1,82	1,85	1,87	1,90	1,93			
8°	1,49	1,54	1,59	1,64	1,69	1,74	1,77	1,79	1,82	1,84	1,87	1,89			
10°	1,46	1,51	1,56	1,61	1,65	1,70	1,73	1,75	1,78	1,80	1,83	1,85			
12°	1,42	1,47	1,51	1,56	1,61	1,66	1,68	1,70	1,73	1,75	1,77	1,80			
14°	1,37	1,42	1,46	1,51	1,56	1,60	1,62	1,65	1,67	1,69	1,72	1,74			

(Correction à retrancher)

Extrait de : HURKALT, J., Note sur l'emploi du nivellement barométrique pour la stéréopréparation dans les territoires d'Outre-Mer (Institut géographique National, Paris, 1946).

TABLE 10. (graphique)
 Altimètre Wallace and Tiernan : correction d'humidité.



Extrait de « Heights by aneroid barometers » par D. R. CRONE — (Revue Empire Survey-July 1948)

TABLE (Graphique) 9.

Altimètre Wallace and Tiernan : correspondance altitude pression et correction de température de l'air.

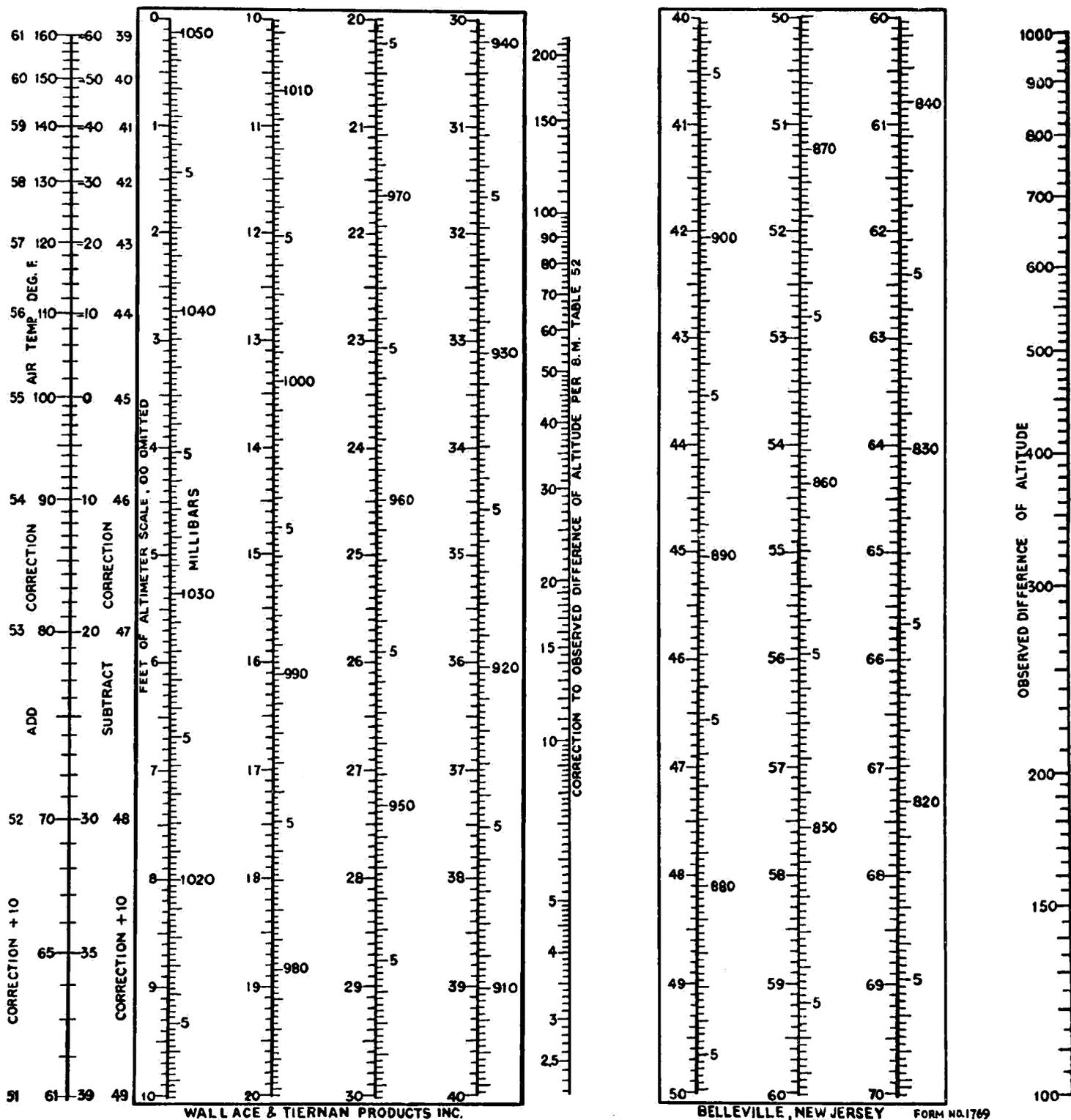




TABLE 11.

Conversion des millibars en millimètres Hg et vice-versa

Formule : 1 mm = 1.33322 mb ; 1 mb = 0.75006 mm.

mb	mm	mb	mm	mm	mb	mm	mb
940	705,1	960	720,1	710	946,6	730	973,3
1	705,8	1	720,8	1	947,9	1	974,6
2	706,6	2	721,6	2	949,3	2	975,9
3	707,3	3	722,3	3	950,6	3	977,3
4	708,1	4	723,1	4	951,9	4	978,6
945	708,8	965	723,8	715	953,3	735	979,9
6	709,6	6	724,6	6	954,6	6	981,2
7	710,3	7	725,3	7	955,9	7	982,6
8	711,1	8	726,1	8	957,3	8	983,5
9	711,8	9	726,8	9	958,6	9	985,2
950	712,6	970	727,6	720	959,9	740	986,6
1	713,3	1	728,3	1	961,3	1	987,5
2	714,1	2	729,1	2	962,6	2	989,2
3	714,8	3	729,8	3	963,9	3	990,6
4	715,6	4	730,6	4	965,3	4	991,9
955	716,3	975	731,3	725	966,6	745	993,2
6	717,1	6	732,1	6	967,9	6	994,6
7	717,8	7	732,8	7	969,3	7	995,9
8	718,6	8	733,6	8	970,6	8	997,2
9	719,3	9	734,3	9	971,9	9	998,6
960	720,1	980	735,1	730	973,3	750	999,9
0,1	0,08	0,6	0,45	0,1	0,13	0,6	0,80
0,2	0,15	0,7	0,52	0,2	0,27	0,7	0,93
0,3	0,23	0,8	0,60	0,3	0,40	0,8	1,07
0,4	0,30	0,9	0,68	0,4	0,53	0,9	1,20
0,5	0,38	1,0	0,75	0,5	0,67	1,0	1,33

TABLE 12
Conversion des pieds en mètres.

Formule : 1' = 0.30479 m ; 1 m = 3,2809'.

Pieds	Mètres	Pieds	Mètres	Pieds	Mètres	Pieds	Mètres
1	0,31	26	7,93	51	15,54	76	23,16
2	0,61	27	8,23	52	15,85	77	23,47
3	0,91	28	8,53	53	16,15	78	23,77
4	1,22	29	8,84	54	16,46	79	24,08
5	1,52	30	9,14	55	16,76	80	24,38
6	1,83	31	9,45	56	17,07	81	24,69
7	2,13	32	9,75	57	17,37	82	24,99
8	2,44	33	10,06	58	17,68	83	25,30
9	2,74	34	10,36	59	17,98	84	25,60
10	3,05	35	10,67	60	18,29	85	25,91
11	3,35	36	10,97	61	18,59	86	26,21
12	3,66	37	11,28	62	18,90	87	26,52
13	3,93	38	11,58	63	19,20	88	26,82
14	4,27	39	11,89	64	19,51	89	27,13
15	4,57	40	12,19	65	19,81	90	27,43
16	4,88	41	12,50	66	20,12	91	27,74
17	5,18	42	12,80	67	20,42	92	28,04
18	5,49	43	13,11	68	20,73	93	28,35
19	5,79	44	13,41	69	21,03	94	28,65
20	6,10	45	13,72	70	21,34	95	28,96
21	6,40	46	14,02	71	21,64	96	29,26
22	6,71	47	14,33	72	21,94	97	29,56
23	7,01	48	14,63	73	22,25	98	29,87
24	7,32	49	14,93	74	22,55	99	30,17
25	7,62	50	15,24	75	22,86	100	30,48
150	45,72	800	243,83	2000	609,58		
200	60,96	850	259,07	3000	914,37		
250	76,20	900	274,31	4000	1219,16		
300	91,44	950	289,55	5000	1523,95		
350	106,68	1000	304,79	6000	1828,80		
400	121,92	1100	335,27	7000	2133,60		
450	137,16	1200	365,75	8000	2438,40		
500	152,40	1300	396,23	9000	2743,20		
550	167,63	1400	426,71	10000	3047,90		
600	182,87	1500	457,19				
650	198,11	1600	487,66				
700	213,35	1700	518,14				
750	228,59	1800	548,62				
		1900	579,10				

TABLE 13.

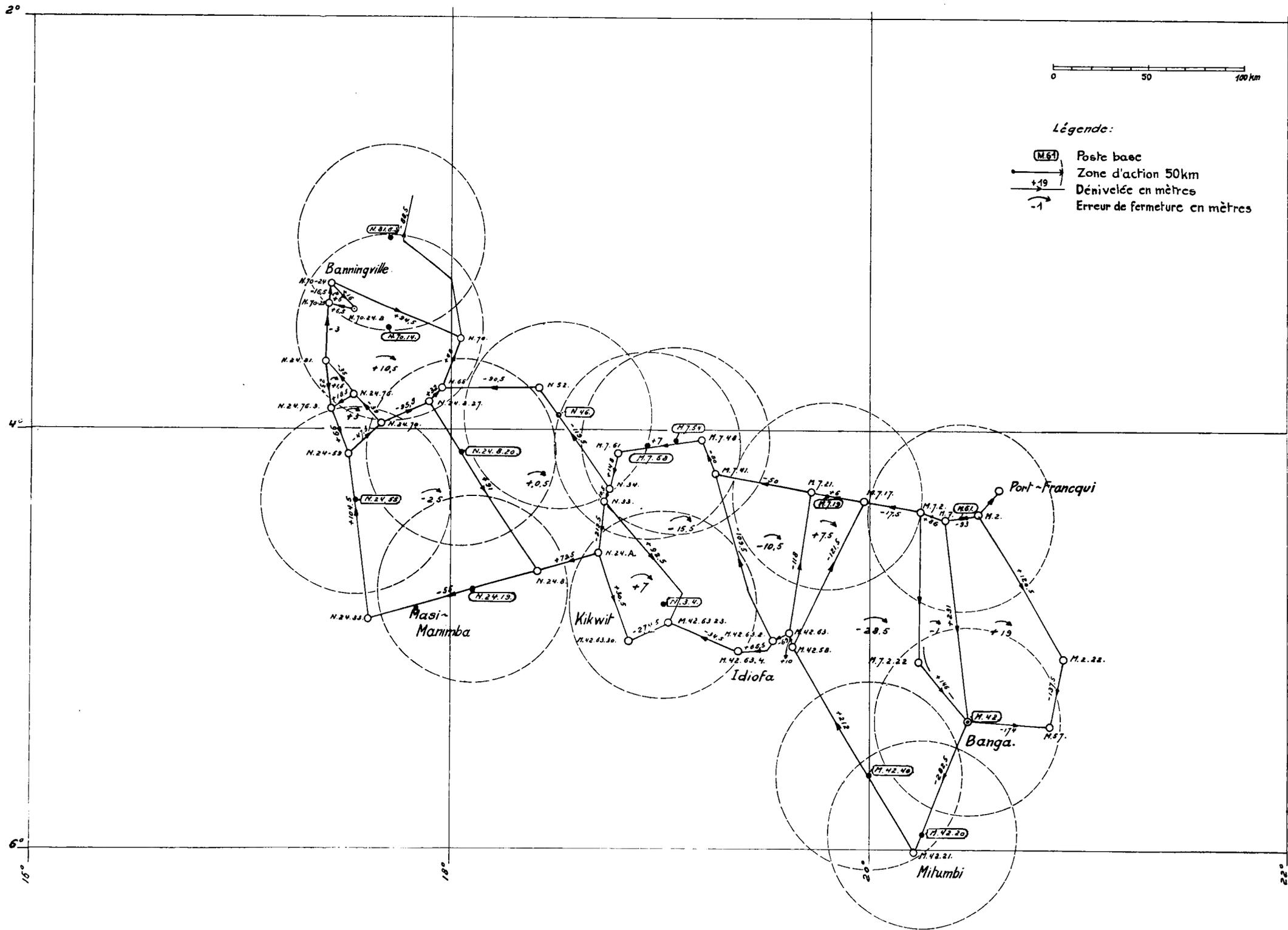
Conversion de degrés centigrades en degrés Fahrenheit et vice-versa.

$$\text{Formule : } C = \frac{5}{9} (F - 32^{\circ}) : F = 32^{\circ} + \frac{9}{5} C.$$

C	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
F	50,0	41,8	53,6	55,4	57,2	59,0	60,8	62,6	64,4	66,2	68,0
C	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
F	69,8	71,6	73,4	75,2	77,0	78,8	80,6	82,4	84,2	86,0	87,8
C	32	33	34	35	36	37	38	39	40		
F	89,6	91,4	93,2	95,0	96,8	98,6	100,4	102,2	104,0		
F	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
C	15,0	15,6	16,1	16,7	17,2	17,8	18,3	18,9	19,4	20,0	20,6
F	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
C	21,1	21,7	22,2	22,8	23,3	23,8	24,4	25,0	25,6	26,1	26,7
F	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91
C	27,2	27,8	28,3	28,9	29,4	30,0	30,6	31,1	31,7	32,2	32,8
F	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102
C	33,3	33,8	34,4	35,0	35,6	36,1	36,7	37,2	37,8	38,3	38,8
F	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113
C	39,4	40,0	40,6	41,1	41,7	42,2	42,8	43,3	43,8	44,4	45,0

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	3
Ch. I. — <i>Principes du nivellement barométrique</i>	7
1. La formule de Laplace	7
2. Les deux méthodes de nivellement barométrique	8
3. Les conditions d'application de la formule de Laplace.	10
4. Modes de levés par nivellement barométrique	12
Ch. II. — <i>Les instruments</i>	18
1. But de ce chapitre	18
2. Baromètre à mercure (type Fortin de campagne)	18
3. Altimètres	22
4. Barographes	27
5. Thermo-hygrographe	30
6. Thermomètre-fronde — Psychomètre	30
7. Mesure du temps	31
Ch. III. — <i>Application des méthodes de nivellement barométrique</i>	32
1. Méthode des observations simultanées	32
2. Méthode des observations itinérantes	33
Annexe 1. — La formule de Laplace — Théorie succincte	44
Annexe 2. — Les conditions d'application au Congo belge de la formule de Laplace	53
Annexe 3. — Liste des Stations du Service météorologique du Congo belge	58
Annexe 4. — Réduction des lectures d'un altimètre dans une atmosphère à 0° : application de l'altimètre Thommen 3 B4 ..	60
BIBLIOGRAPHIE	66
TABLE DES TABLEAUX ET GRAPHIQUES	67
TABLE DES ILLUSTRATIONS	68
TABLE DES MATIÈRES	74



CARTE 1. — Schéma d'un réseau général (Extrait des archives REMINA Mission du Syndicat de la Cuvette congolaise).



ABAQUE POUR LE CALCUL DE LA FORMULE DE LAPLACE SIMPLIFIÉE

D'APRÈS L'ABAQUE DE M. BARBERON INGÉNIEUR DE LA MÉTÉOROLOGIE NATIONALE

PLANCHE N° 1

Soit M le point d'altitude inconnue, A le point d'altitude connue

si on connaît à un certain instant

P_a , la pression réduite en A P_m , la pression réduite en M
 t_a , la température de l'air en A t_m , la température de l'air en M
 f_a , la tension de vapeur d'eau en A f_m , la tension de vapeur d'eau en M
 L , la latitude moyenne des 2 stations

la formule de Laplace simplifiée est:

$$\text{dénivelée } z_a^m = (18.400 \log P_a - 18.400 \log P_m) \left(1 + \frac{\theta}{273}\right) - z_1 \left(1 + \frac{\theta}{273}\right)$$

Les tronçons de courbes (1) représentent le faisceau de droites

$Z = 18.400 \log P$ Abscisses $P = 1 \text{ cm pour } 1 \text{ unité}$
 Ordonnées $Z = 1 \text{ cm pour } 10 \text{ unités}$

Les obliques convergentes (2) représentent la fonction

$$z_a^m = z_1 \left(1 + \frac{\theta}{273}\right) \left\{ \begin{array}{l} \text{Abscisses } z_a^m = 1 \text{ cm pour } 10 \text{ mètres} \\ \text{Ordonnées } z_1 = 1 \text{ cm pour } 10 \text{ mètres} \end{array} \right.$$

EMPLOI DE L'ABAQUE

1) Calculer θ (Voir abaque spécial)

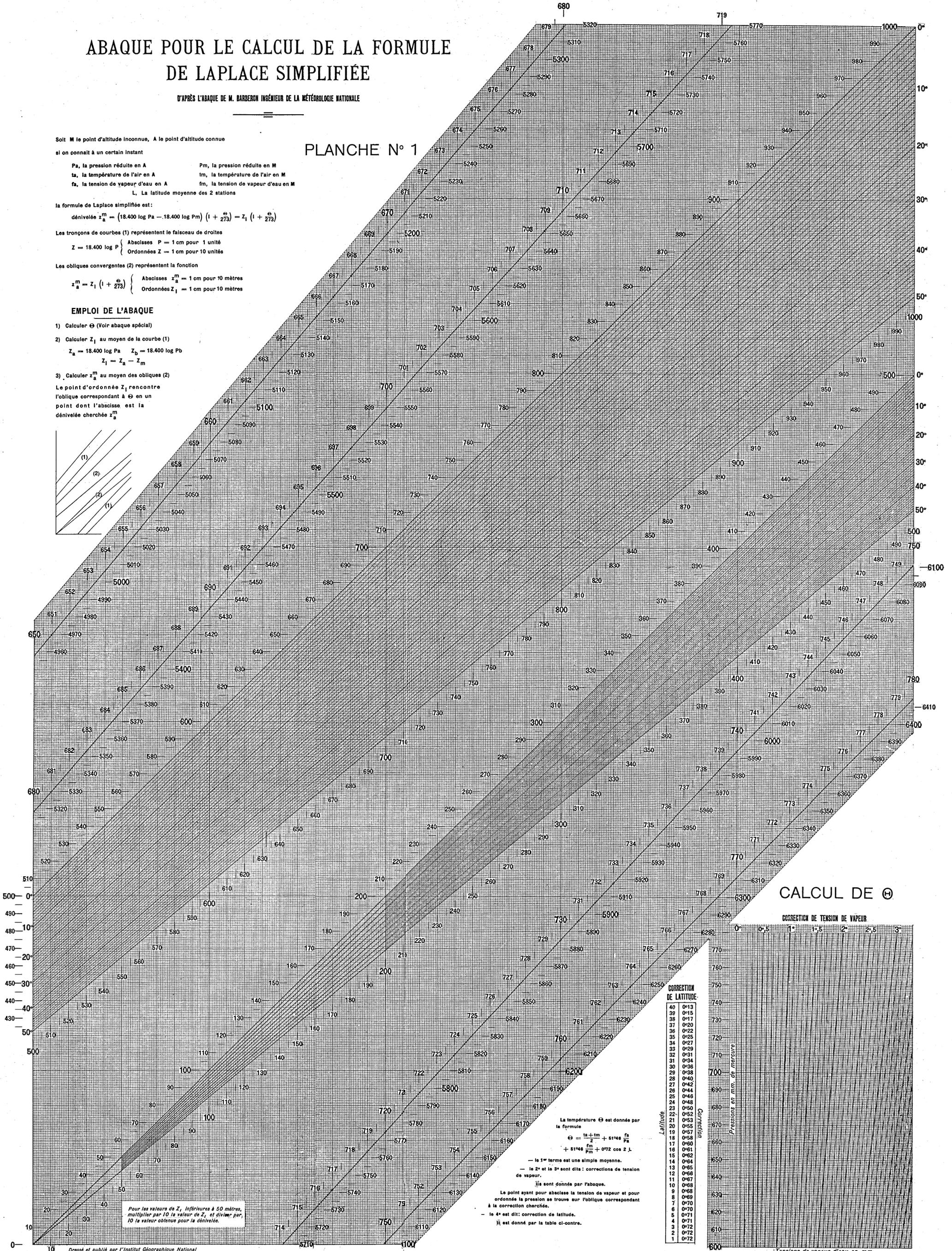
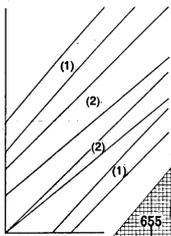
2) Calculer z_1 au moyen de la courbe (1)

$$z_a = 18.400 \log P_a \quad z_b = 18.400 \log P_b$$

$$z_1 = z_a - z_m$$

3) Calculer z_a^m au moyen des obliques (2)

Le point d'ordonnée z_1 rencontre l'oblique correspondant à θ en un point dont l'abscisse est la dénivelée cherchée z_a^m



CALCUL DE θ

CORRECTION DE TENSION DE VAPEUR

CORRECTION DE LATITUDE

40	0.13
39	0.15
38	0.17
37	0.20
36	0.22
35	0.25
34	0.27
33	0.29
32	0.31
31	0.34
30	0.36
29	0.38
28	0.40
27	0.42
26	0.44
25	0.46
24	0.48
23	0.50
22	0.52
21	0.53
20	0.55
19	0.57
18	0.59
17	0.60
16	0.61
15	0.62
14	0.64
13	0.65
12	0.66
11	0.67
10	0.68
9	0.68
8	0.69
7	0.70
6	0.70
5	0.71
4	0.71
3	0.72
2	0.72
1	0.72

La température θ est donnée par la formule

$$\theta = \frac{t_a + t_m}{2} + 51.948 \frac{f_a}{P_a} + 51.948 \frac{f_m}{P_m} + 0.72 \cos 2L$$

— le 1^{er} terme est une simple moyenne.
 — le 2^e et le 3^e sont dits : corrections de tension de vapeur.
 — le 4^e est dit : correction de latitude.

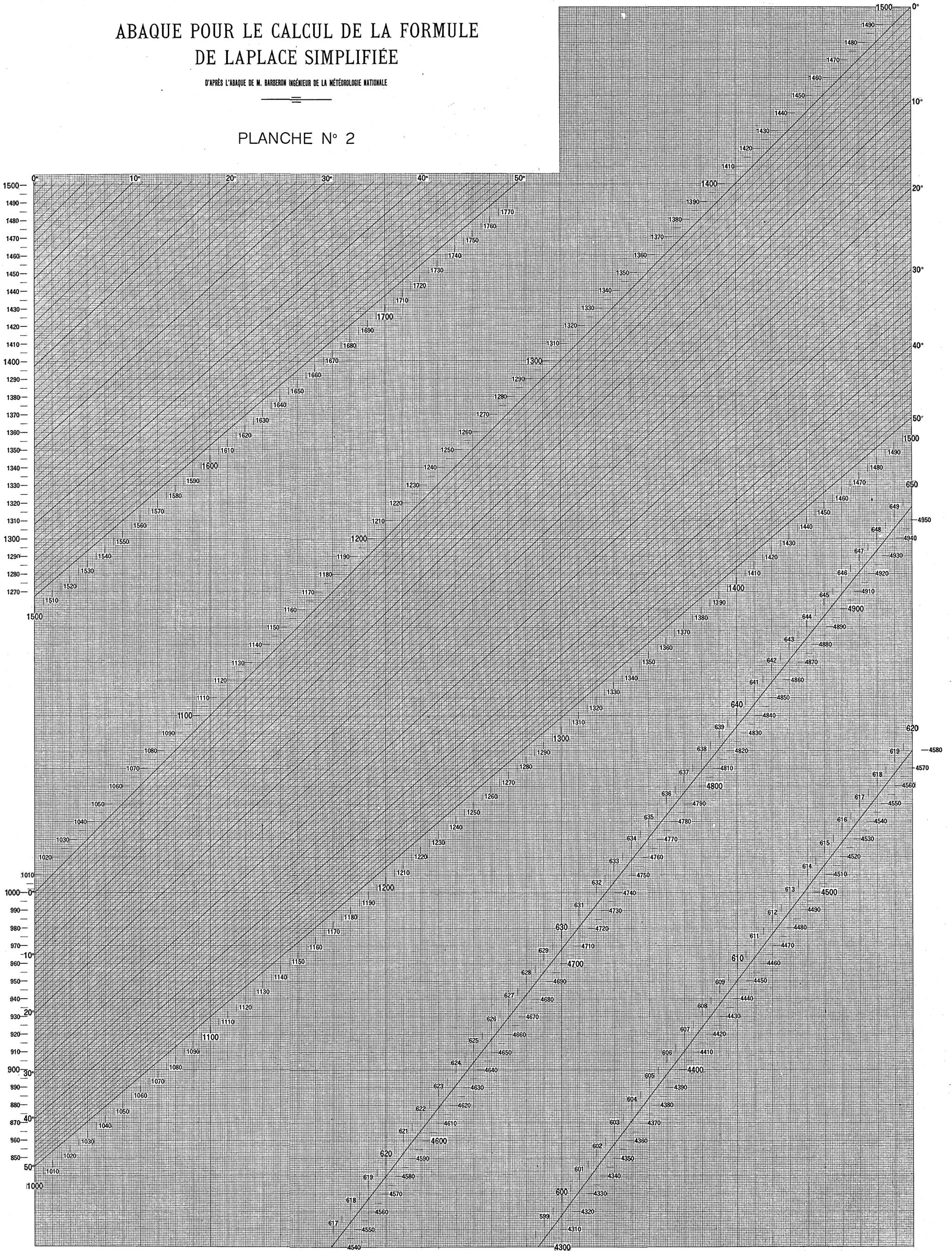
Il est donné par l'abaque.
 Le point ayant pour abscisse la tension de vapeur et pour ordonnée la pression se trouve sur l'oblique correspondant à la correction cherchée.
 Il est donné par la table ci-contre.

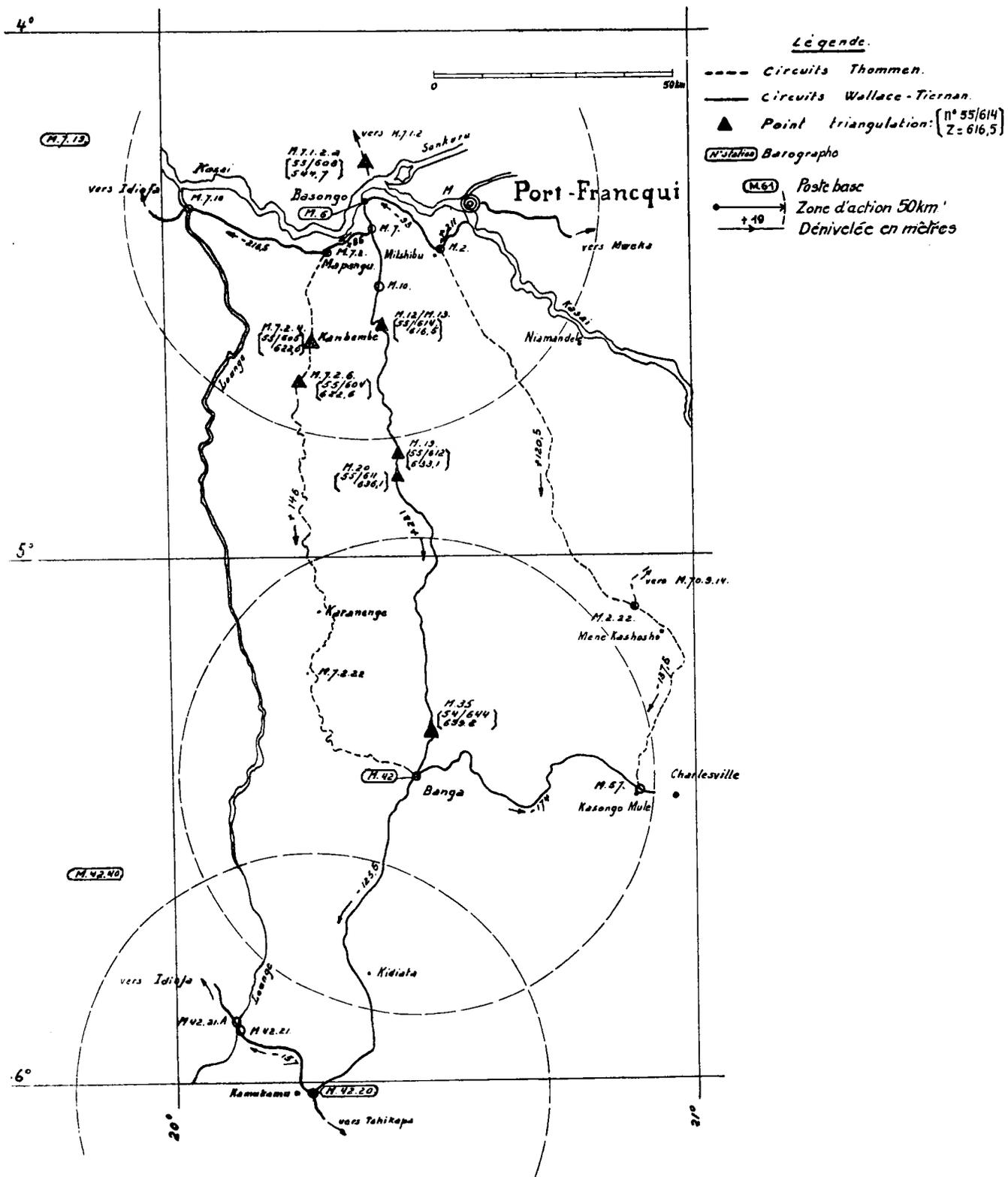
Pour les valeurs de z_1 inférieures à 50 mètres, multiplier par 10 la valeur de z_1 et diviser par 10 la valeur obtenue pour la dénivelée.

ABAQUE POUR LE CALCUL DE LA FORMULE DE LAPLACE SIMPLIFIÉE

D'APRÈS L'ABAQUE DE M. BARBERON INGÉNIEUR DE LA MÉTÉOROLOGIE NATIONALE

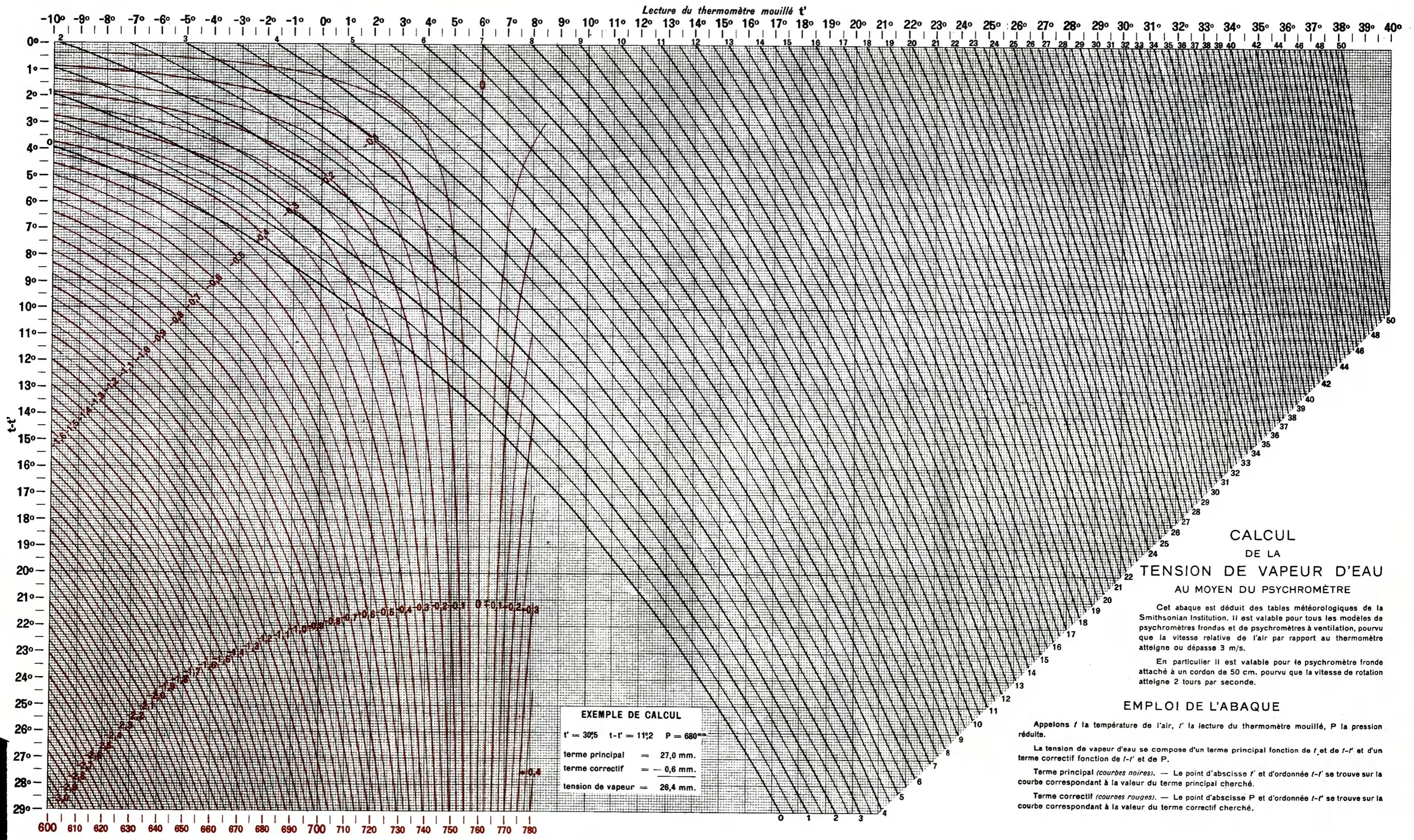
PLANCHE N° 2





CARTE 2. — Détail du réseau général, partie Est (Extrait des archives REMINA Mission Syndicat Cuvette congolaise).





CALCUL DE LA TENSION DE VAPEUR D'EAU AU MOYEN DU PSYCHROMÈTRE

Cet abaque est déduit des tables météorologiques de la Smithsonian Institution. Il est valable pour tous les modèles de psychromètres frondes et de psychromètres à ventilation, pourvu que la vitesse relative de l'air par rapport au thermomètre atteigne ou dépasse 3 m/s.

En particulier il est valable pour le psychromètre fronde attaché à un cordon de 50 cm. pourvu que la vitesse de rotation atteigne 2 tours par seconde.

EMPLOI DE L'ABAQUE

Appelons t la température de l'air, t' la lecture du thermomètre mouillé, P la pression réduite.

La tension de vapeur d'eau se compose d'un terme principal fonction de t et de $t-t'$ et d'un terme correctif fonction de $t-t'$ et de P .

Terme principal (courbes noires). — Le point d'abscisse t' et d'ordonnée $t-t'$ se trouve sur la courbe correspondant à la valeur du terme principal cherché.

Terme correctif (courbes rouges). — Le point d'abscisse P et d'ordonnée $t-t'$ se trouve sur la courbe correspondant à la valeur du terme correctif cherché.

EXEMPLE DE CALCUL

$t' = 30,5$ $t - t' = 11,2$ $P = 680 \text{ mm}$

terme principal = 27,0 mm.

terme correctif = - 0,6 mm.

tension de vapeur = 26,4 mm.

600 610 620 630 640 650 660 670 680 690 700 710 720 730 740 750 760 770 780



