

Institut Royal Colonial Belge

SECTION DES SCIENCES NATURELLES
ET MÉDICALES

Mémoires. — Collection in-8°.
Tome XXIII, fasc. 2.

Koninklijk Belgisch Koloniaal Instituut

SECTIE VOOR NATUUR- EN
GENEESKUNDIGE WETENSCHAPPEN

Verhandelingen. — Verzameling in-8°.
Boek XXIII, afl. 2.

Observations photométriques
du ciel nocturne
et
Observations de rayonnement solaire
et de températures
au plateau des Bianos (Congo belge)

MISSION EFFECTUÉE SOUS L'ÉGIDE DE L'I.R.S.A.C.

PAR

P. HERRINCK

CHEF DU BUREAU DE MAGNÉTISME
AU SERVICE MÉTÉOROLOGIQUE DE LA COLONIE.



Avenue Marnix, 25
BRUXELLES

Marnixlaan, 25
BRUSSEL

1953

PRIX : F 100
PRIJS :

ERRATUM

Page de titre, insérée dans le mémoire de M. Tenret :
« Prospection antituberculeuse au Ruanda-Urundi »,
Tome XXII, fasc. 3 :

Lire : Section des Sciences naturelles et médicales
au lieu de Section des Sciences morales et politiques.

Observations photométriques
du ciel nocturne
et
Observations de rayonnement solaire
et de températures
au plateau des Bianos (Congo belge)

MISSION EFFECTUÉE SOUS L'ÉGIDE DE L'I.R.S.A.C.

PAR

P. HERRINCK

CHEF DU BUREAU DE MAGNÉTISME
AU SERVICE MÉTÉOROLOGIQUE DE LA COLONIE.

Mémoire présenté à la séance du 30 janvier 1953.

AVANT-PROPOS

J'ai le plaisir de présenter à l'Institut Royal Colonial Belge le double mémoire de M. Paul HERRINCK dans lequel il a condensé les résultats de ses observations faites de décembre 1949 à juillet 1950 au plateau des Bianos, au Katanga, puis à Panfontein en Union Sud-Africaine.

Cette mission, généreusement organisée et financée par l'I. R. S. A. C., avait été adjointe à une autre mission, celle de MM. VAN BIESBROECK et SANDERS, organisée sous l'égide du même Institut. Toutefois, les observations astronomiques qui faisaient l'objet de la deuxième mission, ont amené celle-ci à beaucoup de déplacements ; M. HERRINCK a donc été seul pendant la plus grande partie de sa mission, ce qui a conduit à des difficultés matérielles imprévues qui, pour être résolues par un seul homme en un lieu perdu de l'Afrique centrale, ont demandé un courage inlassable, un dévouement sans bornes et un enthousiasme sans lesquels l'entreprise était vouée à l'insuccès. Il me plaît de faire ressortir cet aspect du travail, car l'objectivité de l'auteur n'en laisse apparaître aucune trace dans le rapport présenté ici.

Que l'on s'imagine l'unique groupe électrogène qui devait alimenter sans arrêt les installations, devant être complètement révisé pendant les nuits de manière à ne jamais tomber en panne pendant le jour. Que l'on songe aux réparations et aux ajustements nombreux qu'il fallut effectuer avec des moyens de fortune, dans une chambre d'hôtel, avec un outillage grossier, à des instruments délicats comme le photomètre électronique ou

les potentiomètres enregistreurs BROWN. M. HERRINCK a pu réaliser cet entretien et ces réparations sans que le programme expérimental ait été interrompu ou ralenti si peu que ce soit. Sa femme l'y a aidé avec le dévouement et la foi des néophytes.

Ceci n'était cependant pas encore assez : considérant qu'il y avait intérêt à ajouter des données sur le vent et la pression à sa station d'enregistrement de rayonnement et de températures, M. HERRINCK trouva le moyen et le temps d'imaginer et de construire de toutes pièces un anémomètre totalisateur et un baromètre enregistreur qui purent ajouter leurs données à la moisson abondante qu'il recueillait déjà.

La mission de photométrie a eu toutes les malchances en ce qui concerne le temps : seules quelques nuits par mois, pendant la nouvelle lune, convenaient aux mesures et, par malheur, mois après mois, le mauvais temps s'acharnait à rendre le ciel invisible à ce moment. Il a fallu profiter des plus courtes éclaircies totales pour faire des mesures ; il ne pouvait être question de remettre ses espoirs au lendemain. Tant d'efforts ont été couronnés de succès et ceux qui ont essayé de faire un travail analogue dans des conditions semblables sauront ce que représentent les pages qui suivent.

N. VANDER ELST,
Chef du Service météorologique
Membre de l'I. R. C. B.

PREMIÈRE PARTIE

Observations photométriques des couches lumineuses du ciel nocturne au Congo belge et en Afrique du Sud.

Introduction.

En novembre 1949, l'I. R. S. A. C. nous a donné pour mission d'effectuer au Congo belge des observations du rayonnement solaire, météorologique ainsi que des observations photométriques de la lumière du ciel nocturne. Ces dernières ont été effectuées au moyen d'un photomètre électronique de l'U. S. NAVAL ORDNANCE TEST STATION de Pasadena, Californie. La présente publication concerne les résultats obtenus avec cet instrument.

Nous nous sommes installés sur un haut plateau du Katanga, au lieu-dit de Bianco ($\lambda = 26^{\circ}07'.5$ $\varphi = -10^{\circ}12'$) à 1600 mètres d'altitude. Mais il nous a fallu attendre les mois de mai et de juin pour pouvoir effectuer des observations, les conditions météorologiques n'ayant pas été favorables. A notre demande, nous avons été autorisé à nous rendre en Afrique du Sud au lieu-dit de Panfontein ($\lambda = 26^{\circ}49'.6$ EGr $\varphi = -25^{\circ}56',5$) près de

Koster, où nous avons obtenu d'excellentes conditions de travail. A Bianco, nous n'avons réussi à obtenir que cinq nuits complètes d'observations en six mois, tandis qu'à Panfontein, nous avons eu trois nuits en trois semaines. Le choix de cette station a été fait en collaboration avec la direction du Service météorologique d'Afrique du Sud. Que le D^r SCHUMANN, le D^r KING et leurs collaborateurs trouvent ici l'expression de nos remerciements pour l'aide efficace qu'ils nous ont accordée.

Les observations ont porté uniquement sur les régions spectrales autour de 5210 Å, 5577 Å et 5890 Å. Le but était de déterminer l'altitude des couches lumineuses donnant 5577 Å et 5890 Å.

Le Photomètre.

L'instrument est composé d'un groupe d'alimentation, du photomètre proprement dit, d'une boîte de contrôle et d'un milliampèremètre enregistreur. Le tout fonctionne sur le courant alternatif 110 volts 60 périodes, fourni par un groupe électrogène et transformé pour avoir la bonne tension par un autotransformateur à curseur (Variac).

Le photomètre, qui utilise l'effet photoélectrique, balaie automatiquement tout le ciel par 8 azimuts successifs. Un balayage complet en hauteur d'un horizon à l'autre demande un peu moins de 4 minutes. Ainsi, une observation complète du ciel demande environ 30 minutes. Cette vitesse est limitée par la constante de temps de l'amplificateur. L'observation a lieu sans interruption entre le crépuscule du soir et le crépuscule du matin, c'est-à-dire après et avant que le soleil soit à 18° au-dessous de l'horizon. Pour la latitude de la station, ceci correspond à 1 h. 18 m. en moyenne après le coucher du soleil et avant son lever.

Devant l'objectif de l'appareil se trouvent côte à côte deux filtres interférentiels carrés d'environ 4,5 cm. de côté. La bande spectrale qui traverse ces filtres est alternativement arrêtée par un volet. Cette lumière focalisée par la lentille tombe, après avoir été hachée 30 fois par seconde, sur l'élément sensible d'une cellule photoélectrique à multiplication d'électron (1P21) dont le courant amplifié et redressé est transmis au milliampèremètre enregistreur. Le milliampèremètre est un Easterline Angus, choisi pour sa robustesse.

On obtient de cette façon une comparaison continue de deux bandes spectrales caractéristiques, en fonction de l'azimut et de l'angle de hauteur.

La station dispose de trois filtres interférentiels dont la bande passante est de 110 Å pour 50 % de la lumière transmise, soit environ 15 % de la lumière incidente.

Le premier filtre est centré sur la longueur d'onde de 5210 Å et sert de bande de comparaison soit pour le 2^e filtre, soit pour le 3^e. Le 2^e filtre est centré sur la longueur d'onde de 5610 Å voisine de la raie 01 de l'oxygène $\lambda = 5577$ Å, et le 3^e filtre est centré sur la longueur d'onde de 5935 Å voisine du doublet 5890 — 95 Å du sodium.

Une observation consiste en l'enregistrement d'une nuit complète en utilisant le premier filtre convenablement diaphragmé avec le 2^e ou le 3^e.

Tous les mouvements mécaniques de l'instrument sont contrôlés par des interrupteurs (microswitches), actionnés par des cames entraînées par le moteur déroulant le papier de l'enregistreur, et par des interrupteurs d'arrêt aux axes d'azimut et de hauteur. Divers mouvements peuvent être commandés grâce à un sélecteur et à des boutons poussoirs installés dans la boîte de contrôle.

La position du photomètre est continuellement repérée grâce à l'utilisation de couples de servo-moteurs

(synchrogénérateur), un couple pour l'azimut et un autre pour l'angle de hauteur.

C'est encore un couple de synchros qui permet de commander à distance la sensibilité de l'amplificateur du photomètre.

Durant chaque nuit d'observation, il est procédé à un calibrage en pointant l'appareil sur une étoile dont la brillance et la couleur sont connues. Le milliampère-mètre est équipé de deux plumes supplémentaires, l'une indiquant la fin d'un balayage, en hauteur et l'autre le temps.

Détermination de l'altitude de la couche émettrice.

Considérons une couche émettrice d'épaisseur normale constante située à une altitude h au-dessus du sol.

Supposons que la brillance de la couche dans une direction déterminée est proportionnelle à son épaisseur dans cette direction.

Si aucune atmosphère ne vient absorber ou diffuser la lumière en-dessous de la couche émettrice, une simple considération géométrique montre que l'intensité lumineuse pour une distance zénithale θ est donnée par la formule de van Rhyn ⁽¹⁾ :

$$I_{\theta}'' = I_0'' \sec \alpha$$

$$= I_0'' \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{R \sin \theta}{R + h}\right)^2}} \quad (1)$$

où I_0'' est l'intensité lumineuse pour le zénith, c'est-à-dire pour une direction normale à la couche ; établie dans le cas d'une couche mince, cette formule est également valable pour une couche d'épaisseur notable. h diffère

⁽¹⁾ *Pub. Astr. Lab. Groningen*, n° 21, 1921.

peu dans ce cas de l'altitude du centre de gravité de la couche ⁽¹⁾.

Pour tenir compte de l'influence de l'atmosphère, il y a lieu d'envisager :

- 1) l'absorption sélective due à l'ozone ;
- 2) l'absorption due à la diffusion moléculaire ;
- 3) l'extinction due à la vapeur d'eau et aux particules en suspension dans l'atmosphère.

Le fait que l'ozone se trouve concentrée en haute altitude permet de considérer que ce gaz se trouve au-dessus des couches diffusantes et traiter ainsi le problème séparément.

Si d est l'épaisseur réduite d'ozone, la densité optique à la distance zénithale θ est donnée par

$$a_{\lambda} d \sec \alpha = a_{\lambda} d \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{R \sin \theta}{R + 25} \right)^2}}$$

où a_{λ} est le coefficient d'absorption de l'ozone pour la longueur d'onde λ .

D'après les mesures de M^{me} A. VASSY ⁽²⁾, on a :

λ	5200	5577	5893
a_{λ}	0.025	0,050	0.058

L'influence de la température sur le coefficient a_{λ} est négligée.

Tenant compte de l'absorption par l'ozone, la formule (1) devient :

$$I'_{\theta} = I_0 10^{-a_{\lambda} d \sec \alpha} \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{R \sin \theta}{R + h} \right)^2}} \quad (2)$$

avec

⁽¹⁾ BARBIER D., *Journal de Physique*, Série VII, 5, 1934, p. 243.

⁽²⁾ M^{me} A. VASSY. *Comptes rendus Acad. Sciences* 206, 1938, p. 1638.

$$\sec \alpha = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{R \sin \theta}{R + 25}\right)^2}}$$

où l'altitude de la couche d'ozone est prise égale à 25 kilomètres.

En supposant qu'il n'y a pas d'absorption vraie par la vapeur d'eau et autres particules en suspension dans l'atmosphère, nous allons tenir compte de la diffusion moléculaire. La méthode utilisée est celle de BARBIER ⁽¹⁾, dont voici les grandes lignes. Pour le détail, on verra la publication citée.

Soit I_θ l'intensité du rayonnement mono-chromatique d'un faisceau d'angle solide $d\omega$, entrant par une face ds d'un petit cylindre de longueur dx .

Il y pénètre une énergie $I_\theta d\omega ds dt$ et il en sort une énergie $(I_\theta + dI_\theta) d\omega ds dt$.

$$\text{La différence : } dI_\theta d\omega ds dt \quad (3)$$

provient :

1) de l'affaiblissement de la lumière par diffusion ; si σ est le coefficient de diffusion par unité de volume, on a :

$$- \sigma I_\theta d\omega ds dx dt \quad (4)$$

2) de l'apport d'énergie produit par la diffusion de la lumière J provenant d'autres régions, on a :

$$+ \sigma J d\omega ds dx dt \quad (5)$$

(3), (4) et (5) donnent :

$$dI_\theta = - \sigma I_\theta dx + \sigma J dx$$

$$\text{soit } \frac{dI_\theta}{dx} = - \sigma I_\theta + \sigma J.$$

(1) D. BARBIER. *Ann. géophysique*, Tome 1-1944, p. 144.

Soit τ la densité optique de l'atmosphère entre un point extérieur aux couches diffusantes et le point d'abscisse x sur le rayon lumineux; alors :

$$d\tau = \sigma dx$$

ce qui permet d'écrire l'équation précédente sous la forme de :

$$\frac{dI_\theta}{d\tau} = -I_\theta + J.$$

Si on suppose J indépendant de τ , l'intégrale de l'équation de transfert est donnée par :

$$I_\theta = I'_0 e^{-\tau} + J(1 - e^{-\tau}) \quad (6)$$

où I'_0 est la valeur de l'intensité lumineuse au zénith en dehors du milieu diffusant.

D'autre part, la loi de RAYLEIGH permet d'écrire :

$$J = \frac{3}{4} \int (1 + \cos^2 \beta) I_\theta \frac{d\omega}{4\pi} \quad (7)$$

où β est l'angle entre le faisceau incident et le faisceau diffusé. L'intégrale est étendue à la sphère unitaire.

De (6) et (7), on tire :

$$J = \frac{\int I'_0 e^{-\tau} (1 + \cos^2 \beta) \frac{d\omega}{4\pi}}{\int e^{-\tau} (1 + \cos^2 \beta) \frac{d\omega}{4\pi}}$$

le calcul de cette expression donne :

$$J = I'_0 (F_1 - F_2 \cos^2 \theta)$$

F_1 et F_2 sont donnés par la table suivante, calculée par D. BARBIER, en fonction de l'altitude de la couche lumineuse :

h	50	75	100	150	200	300	400	500	750	1000	2000	∞
F_1	1.49	1.37	1.30	1.19	1.12	1.03	0.90	0.92	0.84	0.78	0.67	0.50
F_2	0.25	0.21	0.20	0.16	0.14	0.12	0.10	0.09	0.06	0.05	0.03	0.00

La formule finale est :

$$I_{\theta} = I_0'' 10^{-a\lambda^d \sec a} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{R \sin \theta}{R + h}\right)^2}} e^{-\tau} +$$

$$I_0'' (F_1 - F_2 \cos^2 \theta) (1 - e^{-\tau})$$

$$\text{avec } \sec a = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{R \sin \theta}{R + 25}\right)^2}}$$

la densité optique étant donnée par :

$$\tau = \frac{1}{M} k_{\lambda} m'$$

avec

$$\frac{1}{M} = \log_e 10 = 0.43429$$

et

$$m' = \frac{p}{760} m$$

k_{λ} est le coefficient d'absorption par diffusion de l'atmosphère pour la longueur d'onde λ et est donné par

$$k_{\lambda} = 3.081 \cdot 10^7 \frac{(\mu_0 - 1)^2}{\lambda^4} n_0 - 1$$

avec

$$\mu_0 = 1.000292$$

$$n_0 = 2.70 \cdot 10^{19}$$

m est la masse d'air donnée par la table de BEMPORAD suivante :

*Masses atmosphériques en fonction de la hauteur H
ou de la distance zénithale z , d'après BEMPORAD.*

H	Z	m	H	z	m	H	z	m
0	90	39.65	31	59	1.94	62	28	1.13
1	89	26.96	32	58	1.88	63	27	1.12
2	88	19.79	33	57	1.83	64	26	1.11
3	87	15.36	34	56	1.78	65	25	1.10
4	86	12.44	35	55	1.74	66	24	1.09
5	85	10.39	36	54	1.70	67	23	1.09
6	84	8.90	37	53	1.66	68	22	1.08
7	83	7.77	38	52	1.62	69	21	1.07
8	82	6.88	39	51	1.59	70	20	1.06
9	81	6.18	40	50	1.55	71	19	1.05
10	80	5.60	41	49	1.52	72	18	1.05
11	79	5.12	42	48	1.49	73	17	1.04
12	78	4.72	43	47	1.46	74	16	1.04
13	77	4.37	44	46	1.44	75	15	1.04
14	76	4.07	45	45	1.41	76	14	1.04
15	75	3.82	46	44	1.39	77	13	1.03
16	74	3.59	47	43	1.37	78	12	1.03
17	73	3.39	48	42	1.34	79	11	1.02
18	72	3.21	49	41	1.32	80	10	1.02
19	71	3.05	50	40	1.30	81	9	1.02
20	70	2.90	51	39	1.28	82	8	1.01
21	69	2.77	52	38	1.27	83	7	1.01
22	68	2.65	53	37	1.25	84	6	1.00
23	67	2.55	54	36	1.23			
24	66	2.45	55	35	1.22			
25	65	2.36	56	34	1.20			
26	64	2.27	57	33	1.19			
27	63	2.19	58	32	1.18			
28	62	2.12	59	31	1.17			
29	61	2.06	60	30	1.15			
30	60	2.00	61	29	1.14			

Méthode de dépouillement.

Les données utilisées pour la détermination de l'altitude des couches lumineuses sont les intensités au zénith et à 75° de distance zénithale des bandes 5200 et 5577 ou 5890.

Dans une direction déterminée, l'intensité lumineuse I est constituée par l'émission E du ciel nocturne de la

haute atmosphère et par la lumière x provenant de l'extérieur, principalement des étoiles.

On a :

$$I_{5577} = E_{5577} + X_{5577} \quad (1)$$

$$I_{5200} = E_{5200} + X_{5200} \quad (2)$$

$$X_{5577} = I_{5577} - E_{5577}$$

$$X_{5200} = I_{5200} - E_{5200}$$

Considérons

$$C = \frac{X_{5577}}{X_{5200}}$$

Ce rapport est susceptible d'être déterminé en considérant la voie lactée.

Soient I_{5577}^{VL} I_{5200}^{VL} des intensités correspondant à des lectures sur la voie lactée, et $I_{5577}^{VL \text{ sym}}$ $I_{5200}^{VL \text{ sym}}$ des intensités correspondant dans le même azimut à des lectures symétriques par rapport au zénith. Les différences

$$I_{5577}^{VL} - I_{5577}^{VL \text{ sym}}$$

et

$$I_{5200}^{VL} - I_{5200}^{VL \text{ sym}}$$

éliminent l'émission du ciel nocturne, et leur rapport donne C .

Quand la voie lactée se trouve au zénith, on considère la différence entre la valeur au zénith et la moyenne d'intensités symétriques par rapport au zénith en dehors de la voie lactée. Le rapport de ces différences pour les radiations 5577 et 5200 donne également le coefficient C .

Soit maintenant k le coefficient permettant de transformer les lectures du milliampèremètre correspondant à λ 5200 en unités absolues: nombre d'étoiles de 10^e grandeur par degré carré.

Ce coefficient a été déterminé par une comparaison du

photomètre G^4 et du photomètre G_1 pour lequel l'étalonnage absolu a été effectué par M. D. BARBIER.

Le coefficient correspondant pour 5577 est donné par

$$\frac{k}{c}$$

En unités absolues, on a :

$$I_{55} = E_{55} + X$$

$$I_{52} = E_{52} + X.$$

Soit par différence

$$I_{55} - I_{52} = E_{55} - E_{52}.$$

Appelons m le rapport des intensités lumineuses pour 5577 entre 75° de distance zénithale et le zénith. De même appelons m' le même rapport pour 5200.

Si nous écrivons Z l'intensité lumineuse au zénith et H l'intensité lumineuse à 75° de distance zénithale, il vient :

$$Z_{55} - Z_{52} = E_{55} - E_{52}$$

$$H_{55} - H_{52} = mE_{55} - m'E_{52}.$$

A partir de ces deux relations, on peut écrire :

$$H_{55} - H_{52} - m(Z_{55} - Z_{52}) = (m - m')E_{52}.$$

En supposant qu'au cours d'une nuit, l'émission 5200 et les rapports m et m' ne varient pas beaucoup, cette relation permet de déterminer m et, par conséquent, l'altitude de la couche lumineuse.

Parmi les observations, il est nécessaire de choisir celles pour lesquelles il y a lieu de croire que l'hypothèse de couche lumineuse uniforme est remplie.

Appelons cycle un balayage complet du ciel. Un cycle est formé de 8 balayages en hauteur suivant les divers azimuts. Une courbe d'intensité lumineuse a été établie pour chaque azimut en fonction du temps, ainsi qu'une courbe pour le zénith.

A partir de ces graphiques, on a établi de demi-heure en demi-heure un diagramme polaire où l'on a indiqué, pour chaque azimut, un vecteur proportionnel à l'intensité lumineuse. La perpendiculaire à l'axe de symétrie de ces figures donne la direction probable pour laquelle l'hypothèse de couche uniforme a le plus de chances d'être remplie.

C'est la moyenne des valeurs correspondant à cet azimut, qui est utilisée avec la valeur zénithale simultanée. On obtient ainsi, pour chaque demi-heure, un point dans un plan $(H_{55} - H_{52})$, $(Z_{55} - Z_{52})$.

L'ensemble de ces points pour une nuit forme un nuage allongé, par lequel il y a moyen de faire passer une droite. Le coefficient angulaire de cette droite donne le rapport m , qui permettra de calculer l'altitude correspondante de la couche lumineuse.

Résultats des observations.

Les figures 1 à 8 donnent en abscisse et au zénith en ordonnée, numérotées de demi-heure en demi-heure, l'intensité de l'émission du ciel à 75° de distance zénithale. La position des droites a été déterminée par la méthode des moindres carrés. La pente de ces droites définit le rapport de l'émission du ciel nocturne à 75° de distance zénithale et au zénith.

La formule de VAN RIJN-BARBIER a été calculée en considérant une épaisseur réduite d'ozone de 0,18 cm. Les coefficients d'extinction utilisés sont :

	5577	5893
air + ozone	0,112	0,096
air	0,091	0,072

Les résultats se résument comme suit :

SODIUM		moyennes du nombre d'étoiles de 10 ^e grandeur par degré carré		
1950 — Bianco	m	altitude	zénith	75°
16-17 mai	1.74	600 km	65	207
17-18 mai	1.56	> 1.000 km	65	212
15-16 juin	9.28	—	65	287
Panfontein				
14-15 juillet	2.25	220 km	134	424
15-16 juillet	2.07	230 km	62	268
ONYGÈNE :				
1950 — Bianco				
18-19 mai	2.88	55 km	119	299
16-17 juin	2.03	360 km	103	197
Panfontein				
16-17 juillet	3.51	50 km	45	180

Comparativement aux déterminations effectuées en France par M. BARBIER, et aux États-Unis par M. ROACH, et M^{lle} PETITT, la valeur de l'émission de la raie 01 de l'oxygène est très faible, l'émission du doublet 5893 du sodium est un peu plus élevé que leur valeur minimum, qui se situe d'ailleurs à la même époque. Le nombre de nos déterminations est trop faible pour pouvoir en tirer une donnée concernant la variation des intensités pendant l'année. Il n'est pas possible non plus de dire si les valeurs que nous avons obtenues correspondent à un minimum.

La valeur élevée obtenue le 14-15 juillet pour 5893 est très curieuse, les observations ayant été entreprises immédiatement après de fortes pluies et par un ciel exceptionnellement transparent. S'agit-il d'une circonstance fortuite ? Cette valeur élevée, à laquelle correspond une erreur relative plus faible, donne à la détermination de l'altitude de la couche, une précision plus grande. Aussi l'altitude obtenue de 220 km peut être considérée comme satisfaisante.

Pendant le mois de juin, l'extinction par l'atmosphère était particulièrement élevée et les déterminations d'altitude pendant cette période ne peuvent pas être prises en considération.

Il y aurait lieu, pour l'avenir, d'effectuer avec un appareil de même ouverture que le photomètre, des déterminations simultanées de l'extinction, ce qui permettrait une meilleure évaluation. Dans nos calculs, nous avons suivi la méthode de DUFAY, BARBIER et ROACH, qui ne considèrent que l'extinction RAYLEIGH.

L'altitude de l'émission de la raie 5577 semble être extrêmement basse. Il y a lieu de remarquer que le calcul présuppose l'élimination de la lumière extra-terrestre. Or, pour cela, un coefficient C a été déterminé en utilisant la voie lactée. Le tableau ci-après donne les coefficients C ainsi que le nombre de déterminations et les Σ des distributions.

	C	n	
16-17 mai	1.80	54	1.87
17-18 mai	1.66	60	1.70
15-16 juin	1.74	63	1.78
14-15 juillet	1.96	65	2.00
15-16 juillet	1.77	61	1.80
18-19 mai	1.49	51	—
16-17 juin	1.64	52	—
16-17 juillet	1.86	53	—

La grandeur du Σ des distributions fait que, en appliquant le Test de FISHER, les différences entre les divers C obtenus ne sont pas significatives. Cette indétermination de C entraîne une correction soit trop petite, soit trop grande.

Il ne semble pas possible, avec le photomètre du type employé, d'obtenir, particulièrement dans le cas de valeurs faibles de l'intensité, des résultats meilleurs.

On ne connaît rien du spectre du ciel nocturne dans les régions où les observations ont été effectuées, et, par

conséquent on ne sait rien de l'importance des bandes de OH qui ont également une influence sur les déterminations des intensités.

Pour terminer, il nous semble utile de montrer l'importance de la précision à atteindre.

Dérivons la formule de VAN RHIJN ; il vient :

$$dm = - \left(\frac{m^3 - m}{R + h} \right) dh$$

où m est le rapport horizon-zénith ;

R est le rayon de la terre ;

h est l'altitude de la couche émettrice.

Pour une erreur relative $\frac{dm}{m}$ de 1 %, on obtient :

h	$\frac{dh}{h}$
25	21
50	11
100	7
200	5
500	3
750	3
1.000	3

L'examen de ce tableau fait apparaître l'obligation absolue de faire des mesures précises. Dans nos observations avec le photomètre employé, la précision n'atteint pas 10 % pour $\frac{dm}{m}$. Ce qui porte l'incertitude pour $h = 200$ km à plus de ± 50 km.

Avec le nouveau photomètre de ROACH, une précision plus grande pourra être obtenue.

Conclusion.

Cette première mission a permis, en quelque sorte, d'entamer le problème de l'émission du ciel nocturne. Nous avons obtenu pour l'altitude de la raie 01 de l'oxygène, une altitude basse et pour le doublet 5893 du sodium, une altitude de $220 \text{ km} \pm 50 \text{ km}$. L'intensité au zénith de la raie d'oxygène est en moyenne d'une centaine d'étoiles de 10^e grandeur par degré carré, celle du sodium de 65.

Le nouveau photomètre de ROACH, combiné avec des mesures d'extinction et l'étude des spectres du ciel nocturne obtenus avec un spectrographe C₁ de COJAN, permettra de résoudre cet important problème que nous avons eu le bonheur d'entamer en Afrique.

Notre profonde gratitude va à M. D. BARBIER, qui a bien voulu nous mettre au courant des méthodes de dépouillement et qui nous a aidé lors de l'étalonnage de notre photomètre à l'Observatoire de Saint-Michel en Haute-Provence.

Nous devons aussi remercier M. BOURGEOIS, Directeur de l'Observatoire royal et Président de la Commission de géophysique de l'I. R. S. A. C. pour la confiance qu'il nous a accordée et pour les encouragements qu'il n'a cessé de nous prodiguer au cours d'une mission qui paraît avoir été aisée quand elle est terminée.

Bruxelles, le 12 septembre 1951.

BIBLIOGRAPHIE

1. DUFAY, Jean et TCHENG MAO-LIN, Recherches spectro-photométriques sur la lumière du ciel nocturne dans la région visible. *Annales de géophysique*, T. 3, fasc. 3, déc. 1947.
2. BARBIER, D., La répartition de l'ozone atmosphérique en fonction de l'altitude. *Journal de Physique*, Série VII, 5, 1934, p. 243.
3. CHALONGE, D., *Journal de Physique*, Série VII, 3, 1932, p. 21.
4. DUFAY, J., Thèse, Paris 1928, p. 133.
5. DUFAY, J., *Bulletin Observatoire Lyon*, 10, 1928, n° 9, p. 133.
6. BARBIER, D., *Annales de géophysique*, 1, 1944, p. 144.
7. VASSY, A., Comptes rendus Académie Sc., 206, 1938, p. 1638.
8. ABADIE, P., VASSY, E. et VASSY, A., *Annales de géophysique*, 1, 1944, p. 189.
9. PIOTROWSKI, S. L., *Ap. J.*, 106, 466, 1947.
10. BARBIER, D., *Annales d'Ap.*, 10, 141, 1947.
11. VAN RHIJN, P. J., *Publ. Astr. Lab. Groningen*, n° 21, 1921.
12. ELVEY, C. T. and FARNSWORTH, A. H., *Ap. J.*, 96, 451, 1942.
13. KARIMOV, M., *A. J. Soviet Union*, 24, 118, 1947.
14. HULBURT, E. O., Report to the meetings of the Gassiot Committee, London, 1947.
15. *Transaction of the Geophysical Union*, fév. 1950.

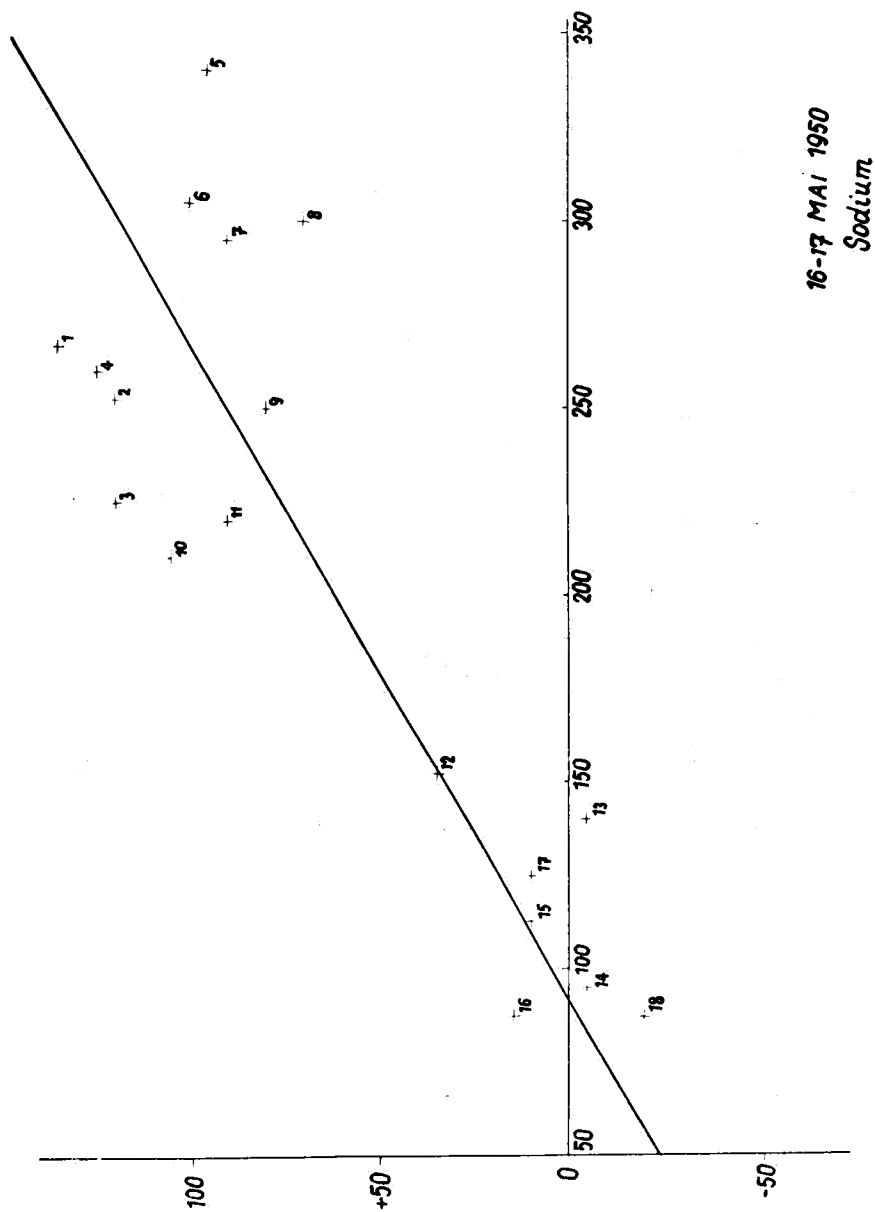


FIG. 1. — Rapport des intensités lumineuses au zénith et à l'horizon à Bianco.

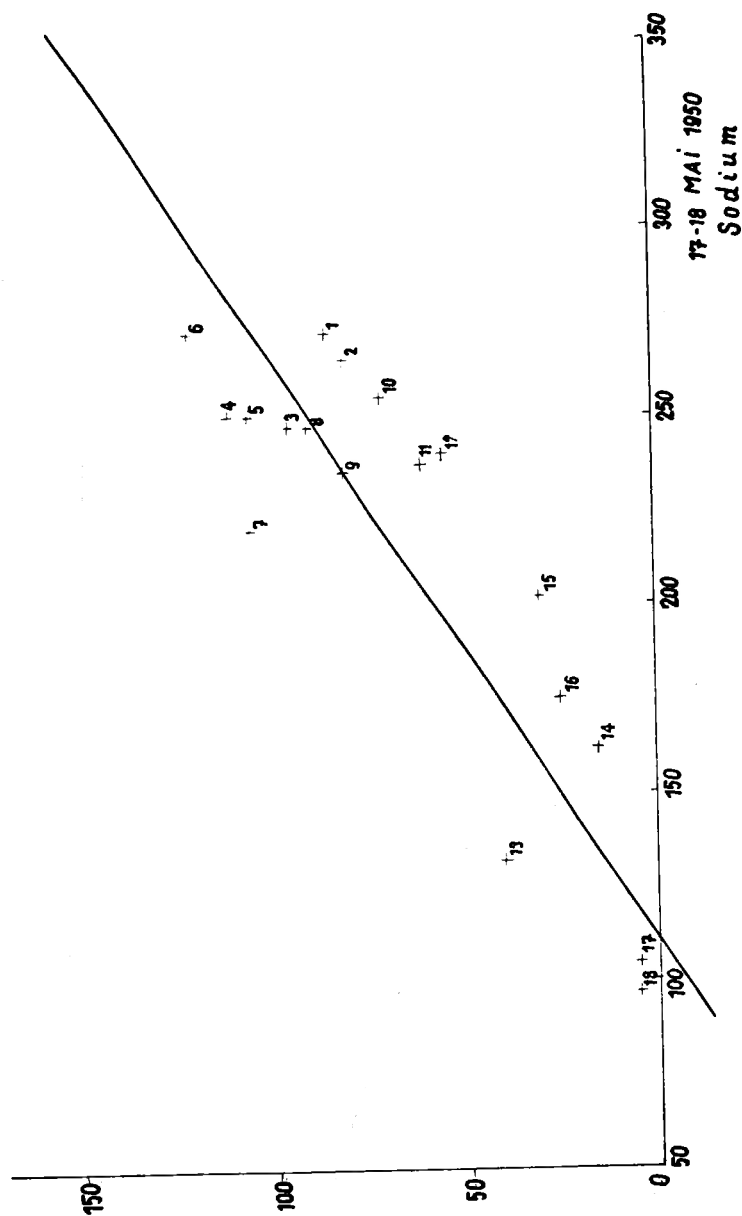
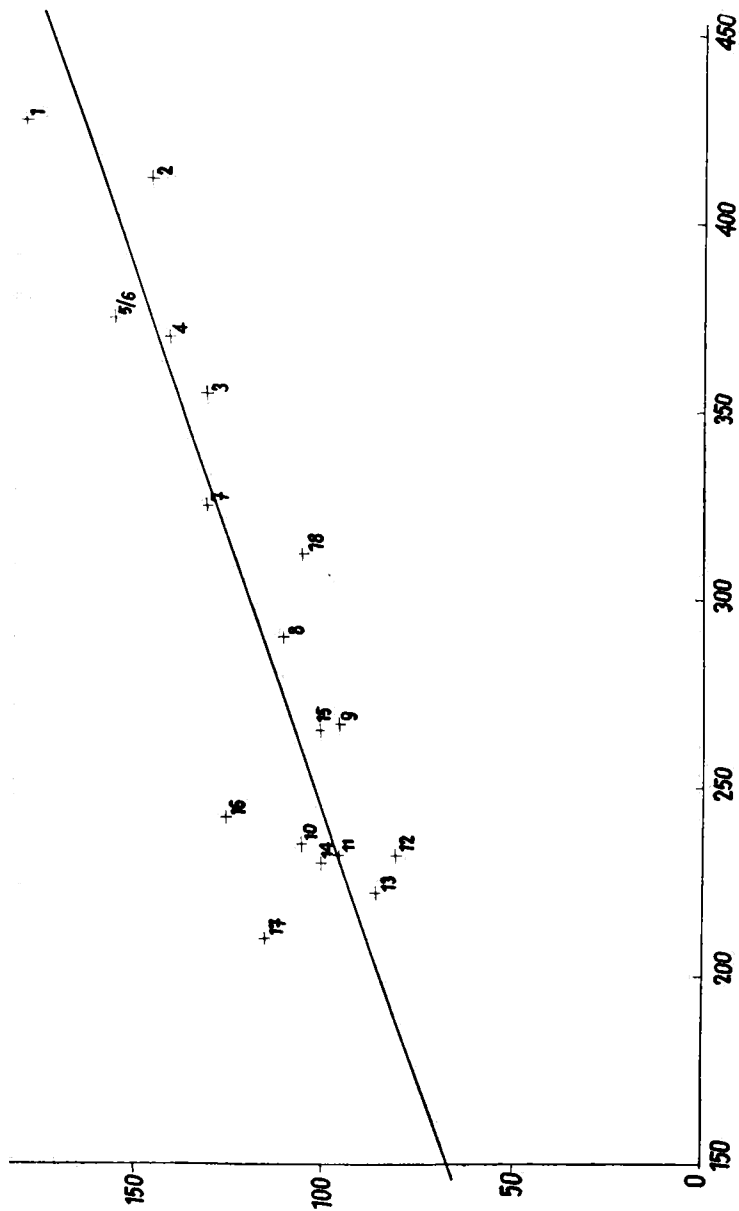


FIG. 2. — Rapport des intensités lumineuses au zénith et à l'horizon à Bianco.



18-19 MAI 1950
Oxygène

FIG. 3. — Rapport des intensités lumineuses au zénith et à l'horizon à Bianco.

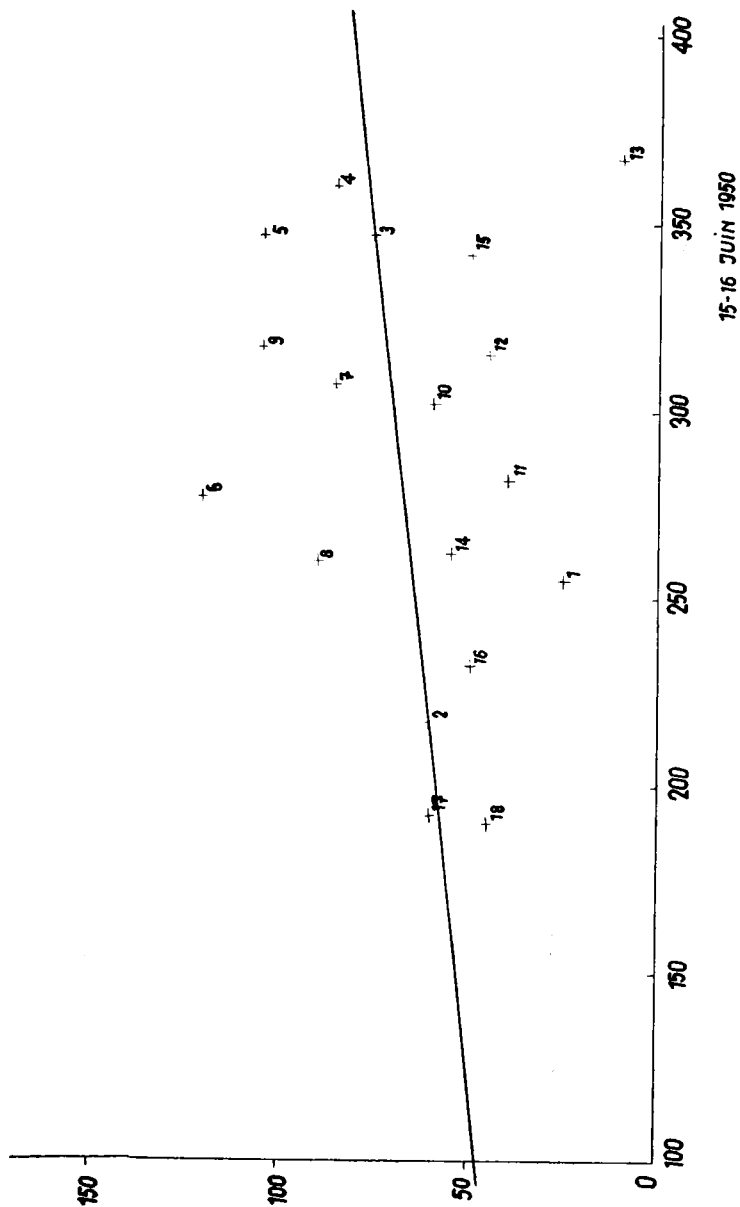


Fig. 4. — Rapport des intensités lumineuses au zénith et à l'horizon à Bianco.

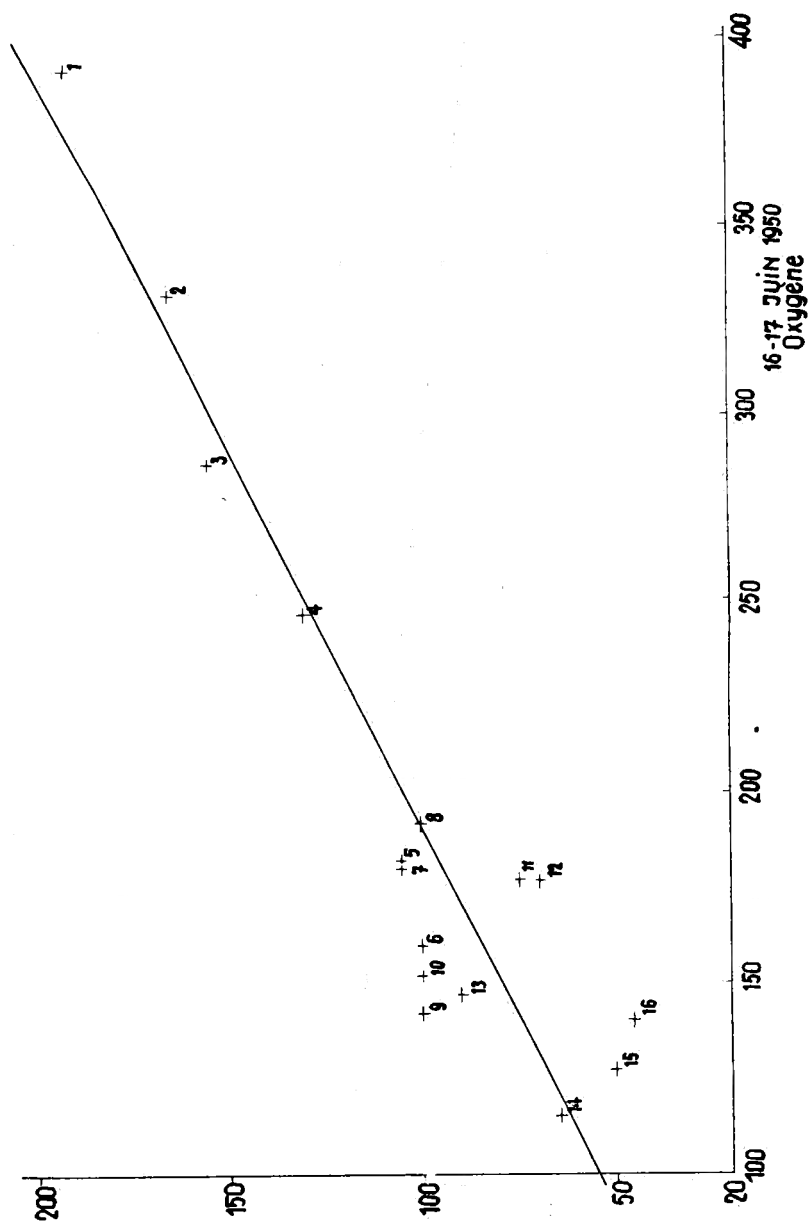
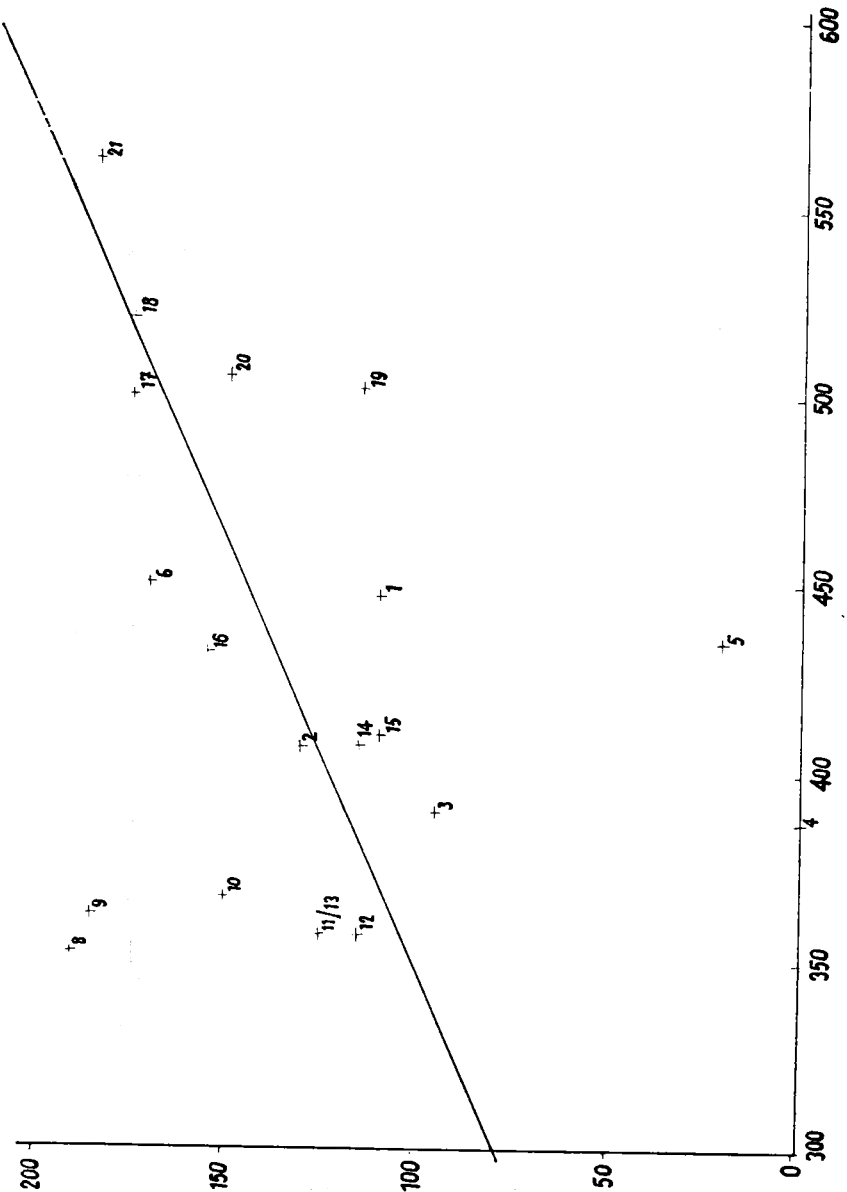


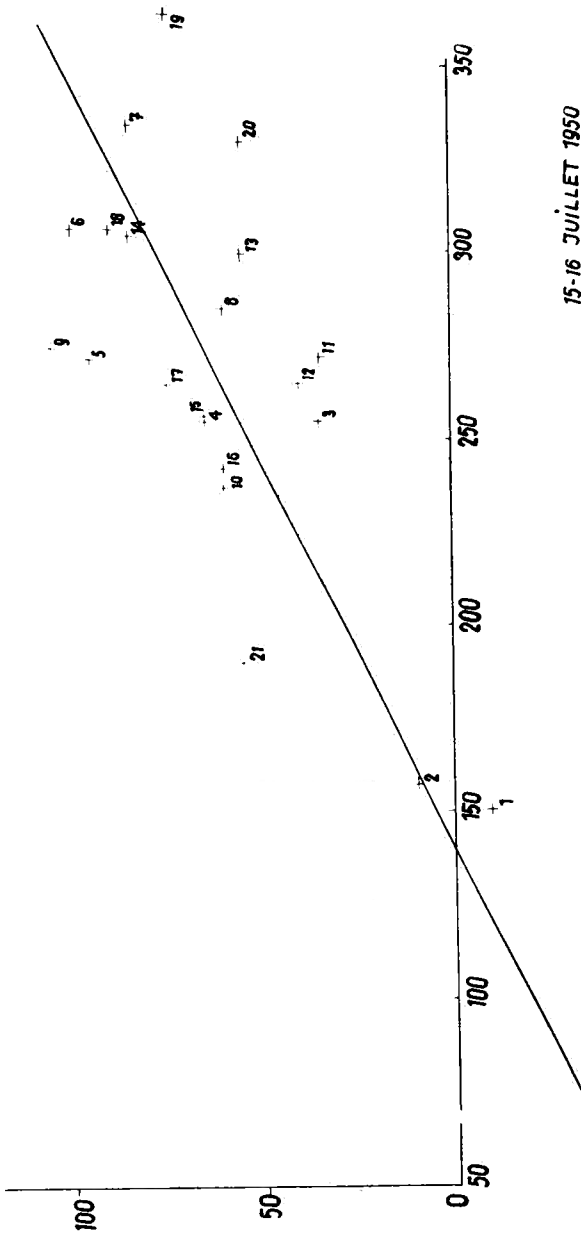
FIG. 5. — Rapport des intensités lumineuses au zénith et à l'horizon à Bianco.



14-15 JUILLET 1950

Sodium

FIG. 6. — Rapport des intensités lumineuses au zénith et à l'horizon à Panfontein.



15-16 JUILLET 1950
Sodium

FIG. 7. — Rapport des intensités lumineuses au zénith et à l'horizon à Panfontein.

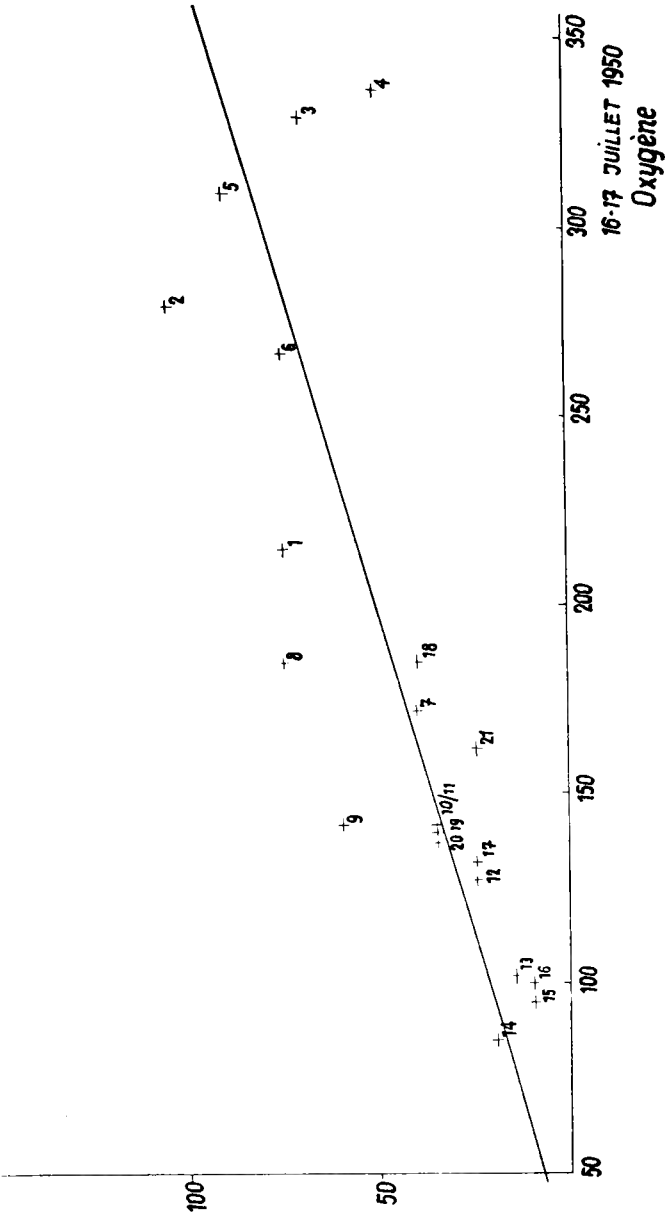


FIG. 8. — Rapport des intensités lumineuses au zénith et à l'horizon.

DEUXIÈME PARTIE

Cinq mois d'observations de la radiation solaire et des températures sur le haut plateau des Bianos du Katanga Congo belge.

Introduction.

En novembre 1952, nous avons été chargé par l'I. R. S. A. C. d'une mission de photométrie du ciel nocturne et d'actinométrie au Congo belge. C'est à l'intervention de M. Nicolet, chef du Service du Rayonnement de l'I. R. M., que cet institut nous a fourni l'appareillage moderne nécessaire. Celui-ci, mis au point par M. Pastiels, nous a donné entière satisfaction.

Nous emportions avec nous une pile de MOLL pour la mesure du rayonnement global, une seconde pile du même genre avec écran masquant le soleil pour le rayonnement diffusé et un solarimètre LINKE-FEUSSNER. Les forces électromotrices de ces appareils étaient enregistrées par un BROWN électronique recorder à six courbes monté en potentiomètre.

Pour la mesure des températures, nous disposions d'une série de thermomètres à résistance et d'un Brown electronic recorder à 12 courbes monté en pont de WHEAT-

STONE. Les mesures suivantes de température ont été effectuées : 1 m, 20 cm et 1 cm sous le sol nu, 1 cm sous gazon, température du thermomètre sec et température du thermomètre humide sous abri ventilé.

Nous avons également recueilli la pluie et lu toutes les heures pendant le jour un anémomètre totalisateur.

Le solarimètre Linke-Feussner était manœuvré par des indigènes sous notre surveillance continue, pendant les périodes à ciel serein. Cet appareil était muni de trois filtres (quartz, jaune et rouge) qui étaient utilisés successivement avec des périodes sans filtres. La température de l'instrument était lue tous les quarts d'heure.

De l'utilisation des résistances pour la mesure précise des températures.

L'idée d'utiliser la loi parabolique de variation de résistance électrique d'un métal avec la température pour des déterminations thermométriques date de l'exposé devant la Royal Society de Londres par C. WILLIAM SIEMENS en 1871, et dont on trouve un compte rendu dans les Proceedings sous le titre : « On the Increase of Electrical Resistance in Conductors with Rise in Temperature » (1). Cette publication fut suivie d'une autre en 1874 (2). Le pyromètre à fil de platine proposé par Siemens, fut l'objet la même année d'un examen par un Comité de la British Association dont les conclusions du rapport (3) furent décevantes : de grandes différences ayant été observées après avoir porté le bulbe thermométrique à haute température. Il faut attendre 1887 et les travaux de H. L. CALLENDAR (4, 5, 6, 7) pour voir cette méthode de mesure entrer dans une phase pratique.

C'est encore à H. L. Callendar que revient le mérite d'avoir suggéré l'emploi de thermomètres à résistance pour définir une échelle de température (16, 17). La

précision de cette méthode est telle qu'elle a été adoptée par la 7^e et la 8^e Conférence générale des Poids et Mesures, respectivement en 1927 et 1933 comme procédé d'interpolation entre les points fixes fondamentaux et points fixes primaires de l'échelle internationale de température entre -190°C et 660°C (Point de Solidification de l'antimoine), les constantes étant déterminées :

- a) au point d'ébullition de l'oxygène -182.97 ;
- b) au point de fusion de la glace (point fondamental) 0° ;
- c) au point d'ébullition de l'eau (point fondamental) 100° ;
- d) au point d'ébullition du soufre 444.60 .

Utilisée couramment en physique et en particulier en calorimétrie, ce procédé est également employé dans l'industrie.

En météorologie, la méthode n'a guère été utilisée. M. Nicolet, Chef du Service du Rayonnement de l'I. R. M., a commencé son utilisation dans ce domaine et c'est grâce à lui que la mission dont nous avons été chargé, a été dotée d'un matériel permettant d'éprouver la méthode en Afrique.

En thermométrie de précision, c'est surtout le platine qui a été utilisé dans la construction des résistances. Cela provient du fait que le platine est un métal noble qui se travaille facilement et dont les propriétés, d'un échantillon à l'autre convenablement manufacturés, restent les mêmes. De plus, la loi empirique liant la résistance de platine à la température reste parfaite dans un grand domaine de température.

Voici les spécifications recommandées par E. F. MUELLER (18) qui donnent des résultats satisfaisants :

- 1) Fil de platine de la plus grande pureté présentant une surface lisse et sans défaut, étiré à froid à partir

d'un lingot coulé et non à partir d'une éponge forgée ;

2) Critère de pureté : la mesure du rapport des résistances à 100° et à 0° du fil recuit doit être supérieure à 1.391 (limite maximum possible 1.3925) ;

3) Critère caractérisant le métal : l'extrémité du fil doit fondre dans une flamme sans éclaboussures ni scintillations.

D'autres métaux, tels le nickel, donnent également de bons résultats.

Les fils doivent être montés de telle façon qu'aucune tension ne leur soit jamais assujettie et que la capacité calorifique réduite au minimum donne à l'ensemble thermométrique une constante de temps petite. Le montage se fait en hélice sur mica en croix. L'enveloppe protectrice, quand elle est nécessaire, peut être faite en verre, en porcelaine, en silice fondue ou en métal.

Les connections entre le fil de platine et les conducteurs en cuivre peuvent être réalisées par des fils d'or qui ont, en particulier, la propriété d'avoir une force électromotrice de contact faible vis-à-vis du cuivre. Il est important enfin que les conducteurs en cuivre soient d'un seul brin.

Pour les détails de construction, on se référera aux travaux de SLIGH T. S. (8), BEATTIE J. A. (9) et MEYERS C. H. (10).

En première approximation, on a :

$$R = R_0(1 + \alpha t)$$

avec pour le platine, $\alpha = 3,9.10^{-3}$

$$dR = R_0 \alpha dt$$

Pour $dt = 10^{-3}$, on a :

$$dR = R. 3,9.10^{-3}.10^{-3} = R.4.10^{-6}$$

La précision de mesure à adopter est donc pour une résistance de :

$$R_0 = 1\Omega \text{ de } 4.10^{-6}\Omega$$

C'est dire qu'une telle détermination demande certaines précautions. Dans le cas des déterminations météorologiques, on a pour

$$dt = 10^{-2}, \quad R_0 = 100, \quad dR = 4.10^{-3};$$

ce qui est déjà beaucoup plus commode.

Sans parler de la méthode du galvanomètre différentiel qui n'est plus guère utilisée, il y a trois méthodes de mesure de la résistance électrique :

- 1) la méthode potentiométrique ;
- 2) l'emploi du pont de WHEATSTONE ;
- 3) l'emploi du pont double de THOMPSON.

C'est la méthode du pont de Wheatstone que nous avons utilisée avec un Brown recorder ; la mesure se fait automatiquement par un servo-moteur.

Dépouillement des observations et étalonnage des instruments.

Le dépouillement des observations actinométriques s'est fait de quart d'heure en quart d'heure. Celui des températures de demi-heure en demi-heure.

Toutes les moyennes ont été faites par décade et par mois.

A partir des moyennes décadaires des températures des thermomètres sec et humide sous abri, nous avons calculé, au moyen d'un abaque, le rapport de mélange en tenant compte de l'altitude 1.600 m de la station et de la vitesse du vent sur le bulbe humide.

Le rapport de mélange est défini par :

$$x = 0.622 \frac{e}{h - e}$$

avec $e = f' - Ah(t - t')$

où : e est la tension de vapeur.

h la pression atmosphérique.

f' la tension de vapeur saturante à la température t' .

A un coefficient qui est fonction de la vitesse du vent sur le thermomètre humide.

t et t' les températures sèche et humide.

Les observations ont commencé vers la mi-janvier pour se terminer vers la fin du mois de juin.

Tous les thermomètres à résistance ont été comparés entre eux au début et à la fin de la mission. Ils ont également été comparés à un thermomètre à mercure étalonné. Par des corrections appropriées, toutes les lectures ont été rapportées au thermomètre à mercure pris comme référence. Il résulte de ces comparaisons qu'on peut être assuré que l'échelle de température utilisée ne présente pas, vis-à-vis d'une échelle absolue, un écart plus grand que $\pm 0,5^{\circ}$ C.

Les dépouillements ont été effectués en appréciant le dixième de division des diagrammes enregistrés, une division correspondant à $0,4^{\circ}$ C. On peut estimer que la précision relative dans l'échelle adoptée est au moins de l'ordre de la demi-division, soit $0,2^{\circ}$ C.

La courbe 1 montra la variation de la température à 1 m sous le sol. L'amplitude de la variation diurne à cette profondeur est inférieure à $0,04$ de degré C. L'examen de cette courbe et des valeurs semi-horaires montre que la précision admise n'est pas infirmée.

Dans les mesures de rayonnement, l'actinomètre de LINKE-FEUSSNER, compte tenu de la température, a été utilisé comme référence. Au départ, cet appareil a été étalonné au Service du Rayonnement de l'I. R. M. par les soins de M. Pastiels. Pendant la mission, l'appareil est tombé en panne, une des lamelles de l'élément sensible s'étant brisée. Nous avons pu réparer sur place.

Au retour, l'appareil a été réétalonné par les soins de M. Dogniaux. L'échelle pyrhéliométrique utilisée est celle de l'Observatoire de Davos. La pile pour le rayonnement global présentait un coefficient de hauteur considérable, en même temps qu'un coefficient d'azimut. Ceux-ci ont pu être déterminés par comparaison avec l'actinomètre. Les valeurs obtenues avant et après la détérioration et la réparation de l'actinomètre n'ont pas montré de différences appréciables, les extrapolations nécessaires entre ces deux périodes, où le soleil se trouvait sous des azimuts et des hauteurs différentes ayant pu se faire sans difficulté.

Plusieurs fois par jour, pendant quelques minutes, le rôle des piles ayant été interverti, il a été facile de déterminer sans ambiguïté le coefficient de la pile avec écran masquant le soleil. Pour celle-ci, il n'a pas été tenu compte d'un coefficient fonction de la hauteur, ni de l'azimut, la variation en fonction de ces éléments étant beaucoup plus faible que pour la pile mesurant la radiation globale et un coefficient moyen a été utilisé.

Les Résultats.

Les figures 2, 3, 4, 5, 6, 7 condensent les moyennes pour la 3^e décade de janvier, les mois de février à mai et la 1^{re} décade de juin des mesures de température et d'actinométrie et présentent les amplitudes de la variation diurne des divers éléments mesurés. Enfin, la figure 8 donne les moyennes décadaires de ces mêmes éléments et montre leur évolution en fonction du temps.

En février et mars, les courbes de température ont la même allure que la courbe d'énergie du rayonnement global. C'est à partir du mois d'avril que les choses se présentent différemment. Alors que l'énergie radiative globale augmente pour atteindre un maximum à la 1^{re}

décade de mai et se maintenir à peu près à ce niveau jusqu'à fin juin, les températures sont en forte décroissance.

A la première décade d'avril, le rayonnement global était d'environ 500 cal/cm^2 par jour et les températures à 20 cm sous le sol nu de $21^{\circ}6$. A la première décade de juin, le rayonnement global est d'environ 550 cal/cm^2 par jour et la température au même niveau est tombée à $17^{\circ}1$.

Cet écart considérable est un fait remarquable qui ne se rencontre pas dans les régions tempérées. L'explication de ce phénomène ne présente néanmoins aucune difficulté. A la 3^e décade d'avril, la pluie a cessé complètement et le ciel est progressivement devenu parfaitement serein. En juin, seuls quelques rares cumulus de beau temps apparaissent quelquefois en fin d'après-midi. La valeur basse du rayonnement diffusé qui présente un minimum de 50 cal/cm^2 par jour à la 1^{re} décade de juin est l'indication de l'absence de nébulosité. La sécheresse augmente progressivement à partir de la 2^e décade d'avril. Le rapport de mélange passe de 14.7 millièmes à 8.2 millièmes à la 1^{re} décade de juin. D'où une augmentation de l'évaporation d'une part, et de l'albedo d'autre part.

En considérant la terre comme un corps noir à la température de $16^{\circ}2$ (1^{re} décade de juin, sol nu), le rayonnement de celle-ci est donné par $I = \sigma T^4$ avec $\sigma = 1,37.10^{-12}$

soit, par seconde

$$I_t = 9,59.10^{-3} \text{ cal/cm}^2$$

par jour

$$I = 827 \text{ cal/cm}^2.$$

Bien que cette valeur soit probablement trop forte, il n'en reste pas moins que l'énergie solaire, dont une

fraction est réfléchiée et qui sert, en outre, à l'évaporation d'une plus grande quantité d'eau, est inférieure au point de vue énergétique, au rayonnement du sol.

Remarquons encore que les courbes diurnes pour le rayonnement global et pour les températures à 1 cm sous le sol nu, ne présentent pas de déphasage en janvier et février, que celui-ci commence à apparaître en mars et avril et qu'il atteint deux heures en mai et juin.

Mesure du coefficient d'extinction en juin.

On a :

$$I_z = I_0 e^{-\tau m_z h}$$

I_z est l'intensité de la radiation pour une distance zénithale z . I_0 est l'intensité de cette radiation en dehors de l'atmosphère, avec

$$m_{zh} = m_z \frac{p}{p_0}$$

pour l'altitude de la station $p = 625$ mm de mercure m_z est donné par la table de BEMPORAD.

La formule ci-dessus peut encore s'écrire :

$$\log I_z = \log I_0 - 0.43429 \tau m_{zh}$$

En considérant τ comme constante, ce qui suffit pour notre but, qui est d'avoir un ordre de grandeur, l'équation ci-dessus représente une droite dans l'espace $\log I_z, m_{zh}$. La pente de cette droite donne τ à un facteur près.

Un calcul graphique donne, à partir des moyennes décadaires, des mesures à l'actinomètre sans filtre :

Juin	1 ^{re} décade	$\tau = 0.153$
	2 ^e décade	$\tau = 0.214$
	3 ^e décade	$\tau = 0.249$

Mesure de la diffusivité du sol.

A partir des mesures de température à 1 cm et 20 cm sous le sol nu, il est possible d'estimer la diffusivité du sol.

Dans le cas général, l'équation de la conduction s'écrit

$$\frac{K}{\gamma} \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \right) = \frac{\partial \theta}{\partial t}$$

où

$\theta = f(x, y, z, t)$	est la température
x, y et z	sont des coordonnées d'espace
t	est le temps
K	est la conductivité thermique
γ	est la capacité calorifique de l'unité de volume

$h = \frac{K}{\gamma}$ porte le nom de diffusivité.

Dans le cas d'un mur, cette équation se réduit à :

$$h \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} = \frac{\partial \theta}{\partial t}$$

Si la variation de température pour $x = 0$ est sinusoïdale, on a comme condition à la limite

$$\theta_0 = A \sin 2\pi \frac{t}{T}$$

où T est la période du phénomène et A l'amplitude. L'intégrale de l'équation différentielle est donnée par

$$\theta = A e^{-\frac{x}{\sqrt{\frac{hT}{\pi}}}} \sin \left(\frac{2\pi t}{T} - \frac{x}{\sqrt{\frac{hT}{\pi}}} \right)$$

En supposant que la variation diurne suit en première approximation une loi sinusoïdale, il est possible, à partir de cette équation, de déterminer la diffusivité du sol, soit par une mesure du déphasage des courbes à 20 cm et 1 cm sous le sol nu, soit en utilisant le rapport des amplitudes. C'est cette dernière méthode qui sera utilisée, car ce rapport d'amplitude est mieux défini que le déphasage.

Considérons la température à 1 cm comme étant celle correspondant à $x = 0$. Il vient :

$$A_{20} = A_0 e^{-\frac{20}{0.564 \sqrt{hT}}}$$

ou

$$\log \frac{A_{20}}{A_0} = -\frac{20 \times 0.434}{0.564 \sqrt{hT}}$$

posons $0.564 \sqrt{hT} = a$

	A_{20}	A_0	A_{20}/A_0	a	$h.10^3$
janvier	2.0	11.1	0.18	12	5.2
février	2.4	11.0	0.22	13	6.1
mars	3.6	13.5	0.27	15	8.2
avril	4.3	13.2	0.33	18	11.7
mai	4.7	14.8	0.32	18	11.7
juin	5.1	15.7	0.32	18	11.7

Comparons ces chiffres aux suivants :

	$h.10^3$
eau	1,4
granite	12.0
sol moyen	7,5

En janvier, février et mars, le sol est saturé d'eau, d'où les valeurs faibles de la diffusivité. Avec la fin des pluies, le sol se dessèche rapidement et conserve une diffusivité constante.

Conclusions.

Cette étude d'observations du rayonnement solaire et des températures montre l'intérêt d'enregistrements continus. En outre, les relations qui apparaissent entre les résultats obtenus sur la radiation et sur la température permettent d'approfondir les conditions du bilan énergétique dans le sol et dans l'atmosphère. Ce premier travail suggère que des observations de plus longue durée et à plus grande échelle soient effectuées au Congo belge.

En terminant, c'est pour nous un plaisir de remercier le Service du Rayonnement en la personne de M. Nicolet et de ses collaborateurs, MM. Pastiels et Dogniaux, pour les encouragements si précieux qu'ils n'ont cessé de nous donner.

Notre gratitude va également vers M^{lle} Coene et M^{me} Gravez, qui nous ont aidé efficacement dans le long travail de dépouillement des observations.

Bruxelles, le 12 septembre 1951.

BIBLIOGRAPHIE

1. SIEMENS, C. William, On the increase of electrical resistance in conductors with rise of temperature, etc. *Proc. Roy. Soc.*, London, 19, 351 (1871).
2. —, On the dependence of electrical resistance on temperature. *J. Soc. Telegraph Engineers*, (London), 3, 297, (1874).
3. Report of Committee of the British Association on new pyrometer of M. Siemens. B. A. Reports p. 242 (1874).
4. CALLENDAR, H. L., On the practical measurement of temperature. *Phil. Trans.* London, 178, 160 (1887).
5. —, On the construction of platinum thermometers. *Phil. Mag.*, 32, 104, (1891).
6. CALLENDAR, H. L. and GRIFFITHS, E. H., On the determination of the boiling point of sulfur and on a method of standardising platinum resistance thermometers by reference to it. *Phil. Trans.* A 182.43. 119, (1892).
7. CALLENDAR, H. L., Notes on platinum pyrometry. *Phil. Mag.*, 47, 191, (1899).
8. SLIGH, T. S. Jr., Recent modifications in the construction of platinum resistance thermometers. Bureau Standards Sci. Papers, 17, 49, (1922).
9. BEATTIE, J. A., JACOBUS, D. D. and GAINES, J. M. Jr., An experimental study of the absolute temperature scale. I. The construction of several types of platinum resistance thermometers. *Proc. Am. Acad. Arts Sci.*, 66, 167 (1930-31).
10. MEYERS, C. H., Coiled filament resistance thermometers. *Bur. Standards J. Research*, 9, 807, (1932), (R. P. 508).
11. GRIFFITHS, E. M., An account of the construction and standardisation of apparatus recently acquired by Kew Observatory for the measurement of temperature *Nature* 53, 39, (1896).
12. SMITH, F. E., On bridge methods for resistance measurements of high precision in platinum thermometry. *Phil. Mag.* (6), 24, 541, (1912).
13. MUELLER, E. F., Wheatstone bridges and some accessory apparatus for resistance thermometry. *Bur. Standard Bulletin*, 13, 547, (1916-17).

14. MUELLER, E. F. and Wenner, F., The Waidner-Wolf and other adjustable resistance elements. *J. Res. Nat. Bur. Standards*, 15, 477, (1935), (R. P. 842).
15. EPPLEY Marion, Modifications of the resistance thermometer bridge (Mueller bridge) and of the commutator selection for use with it. *Rev. Scient. Instrument*, 3, 687, (1932).
16. CALLENDAR, H. L., On a practical thermometric standard. *Phil. Mag.* (5), 48, 519, (1899).
17. —, Proposals for a standard scale of temperature based on the platinum resistance thermometer. B. A. reports p. 242 (1899).
18. *American Institute of Physics*, Temperature, its measurement and control in Science and Industry. Reinhold Publishing Corporation.

LÉGENDE :

TEMPÉRATURE

———— à 1m sous gazon

----- à 20 cm " " "

..... à 1cm " " "

———— à 1cm sous sol nu

—— dans abri thermom. sec

..... " " " " " humide

RAYONNEMENT

——— global

——— diffusé

Température à 1 m sous le sol

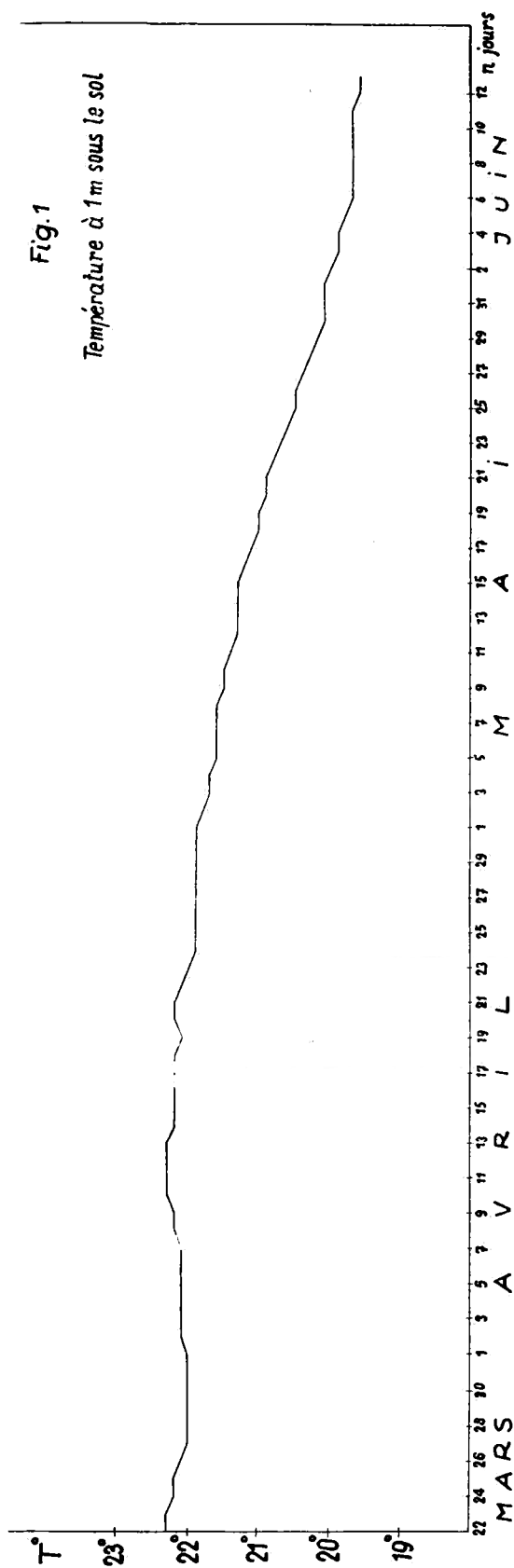


FIG. 1. — Variation annuelle de la température à 1 mètre sous le sol.

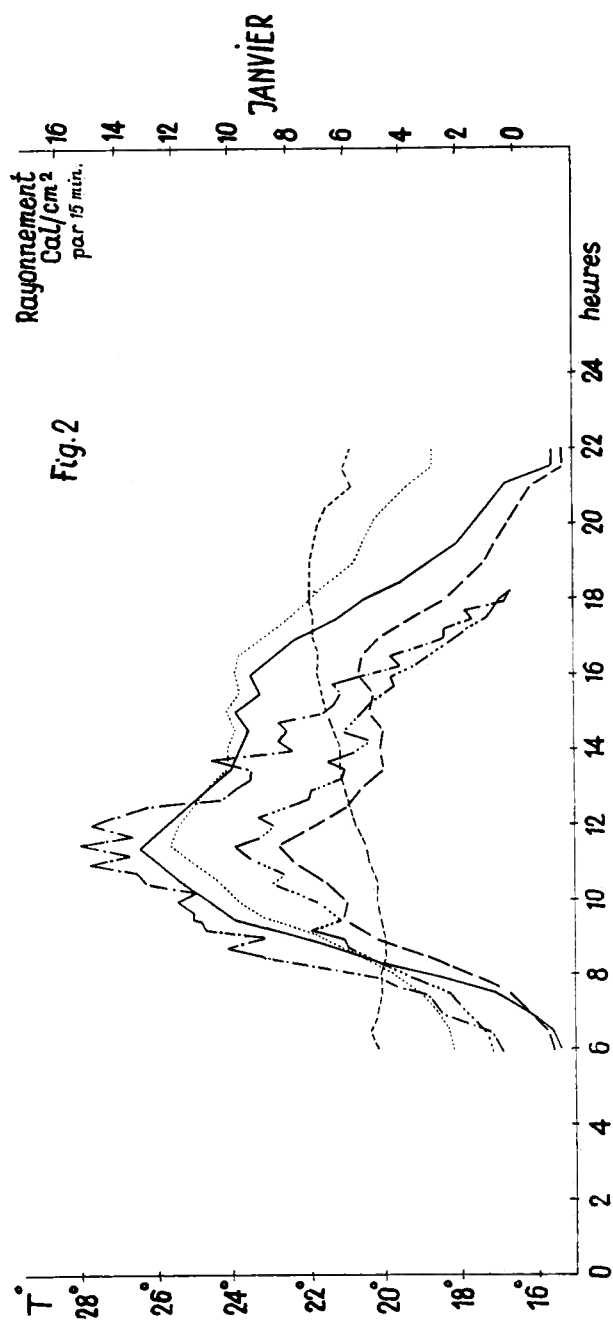


Fig. 2. — Variation diurne des températures et des rayonnements pendant le mois de janvier.

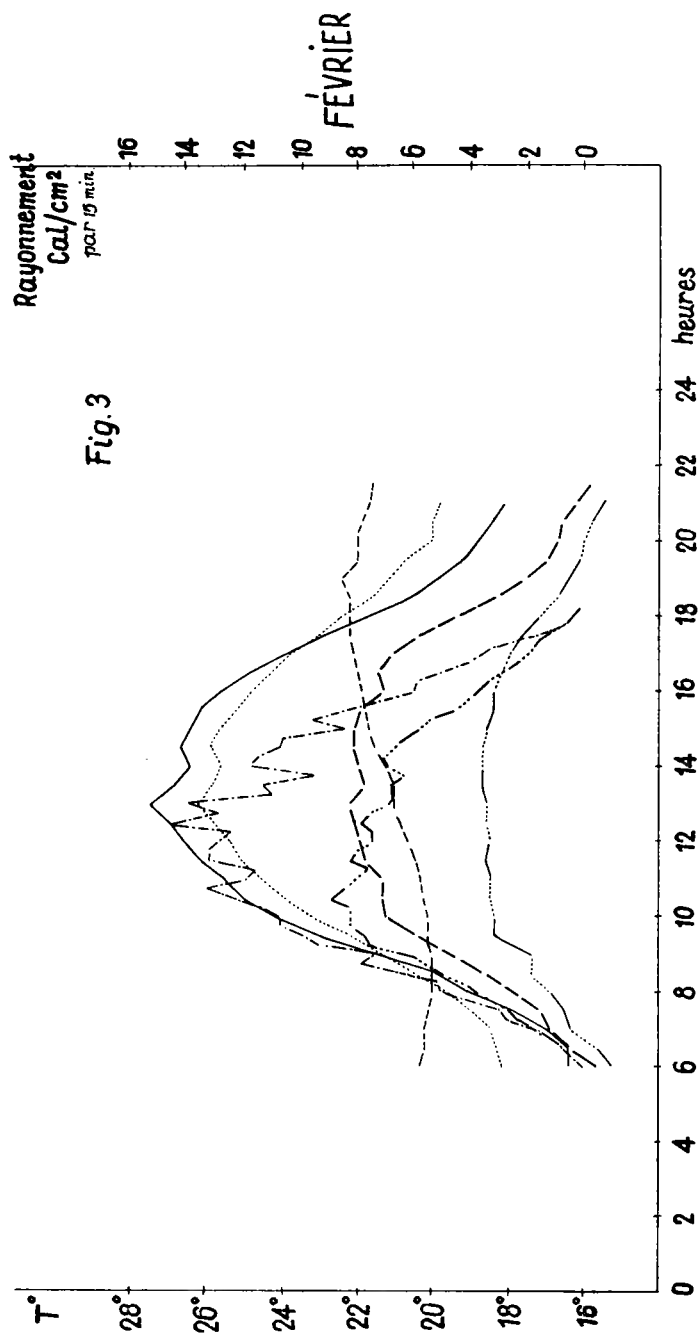


FIG. 3. — Variation diurne des températures et des rayonnements pendant le mois de février.

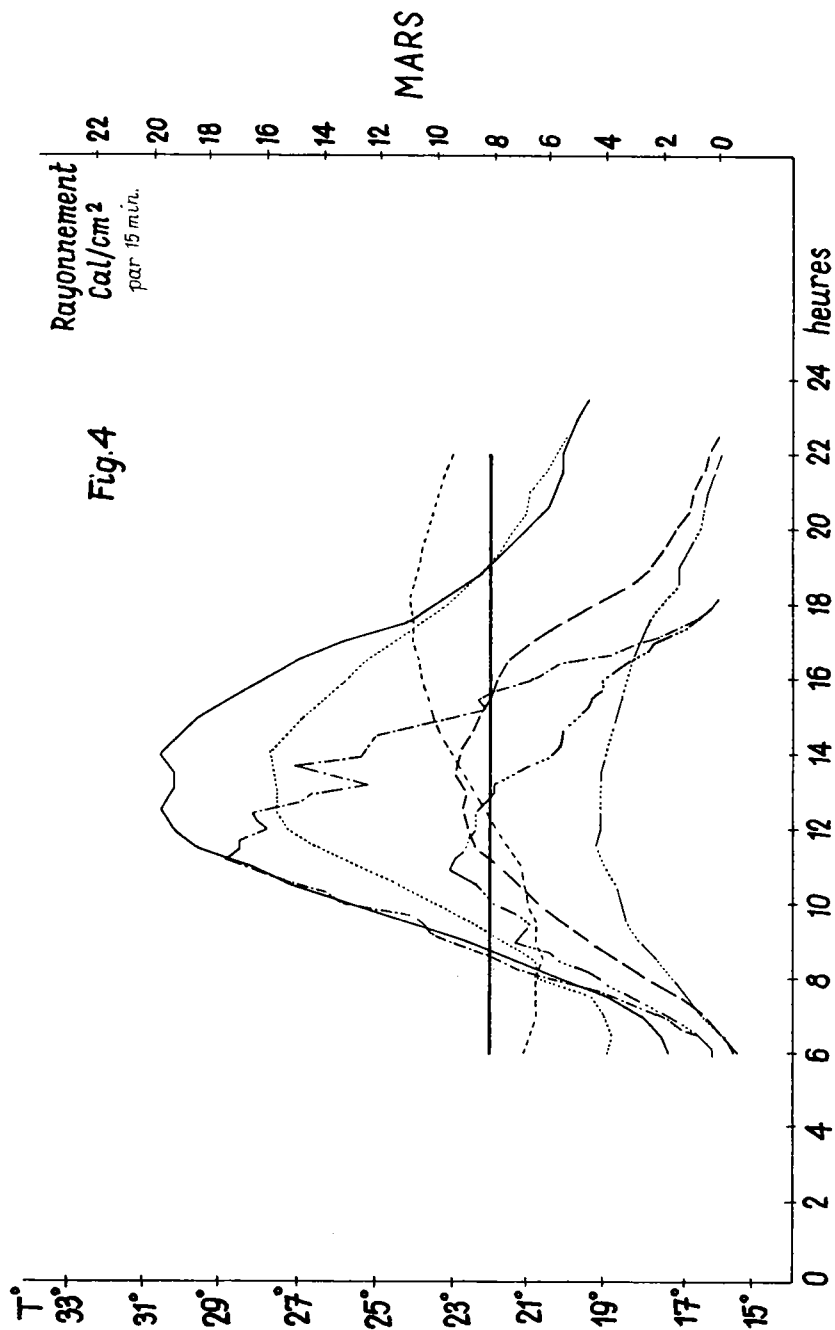


FIG. 4. — Variation diurne des températures et des rayonnements pendant le mois de mars.

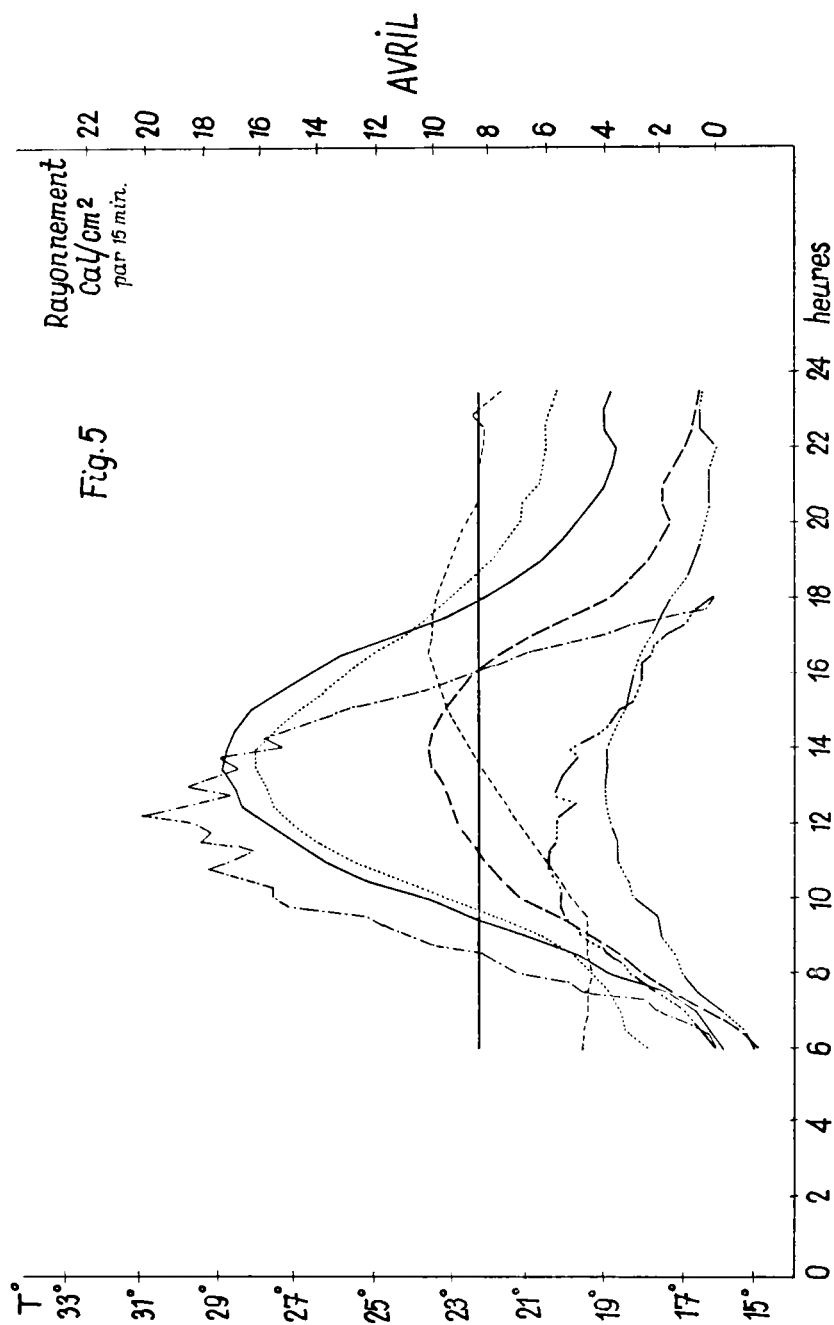


Fig. 5. — Variation diurne des températures et des rayonnements pendant le mois d'avril.

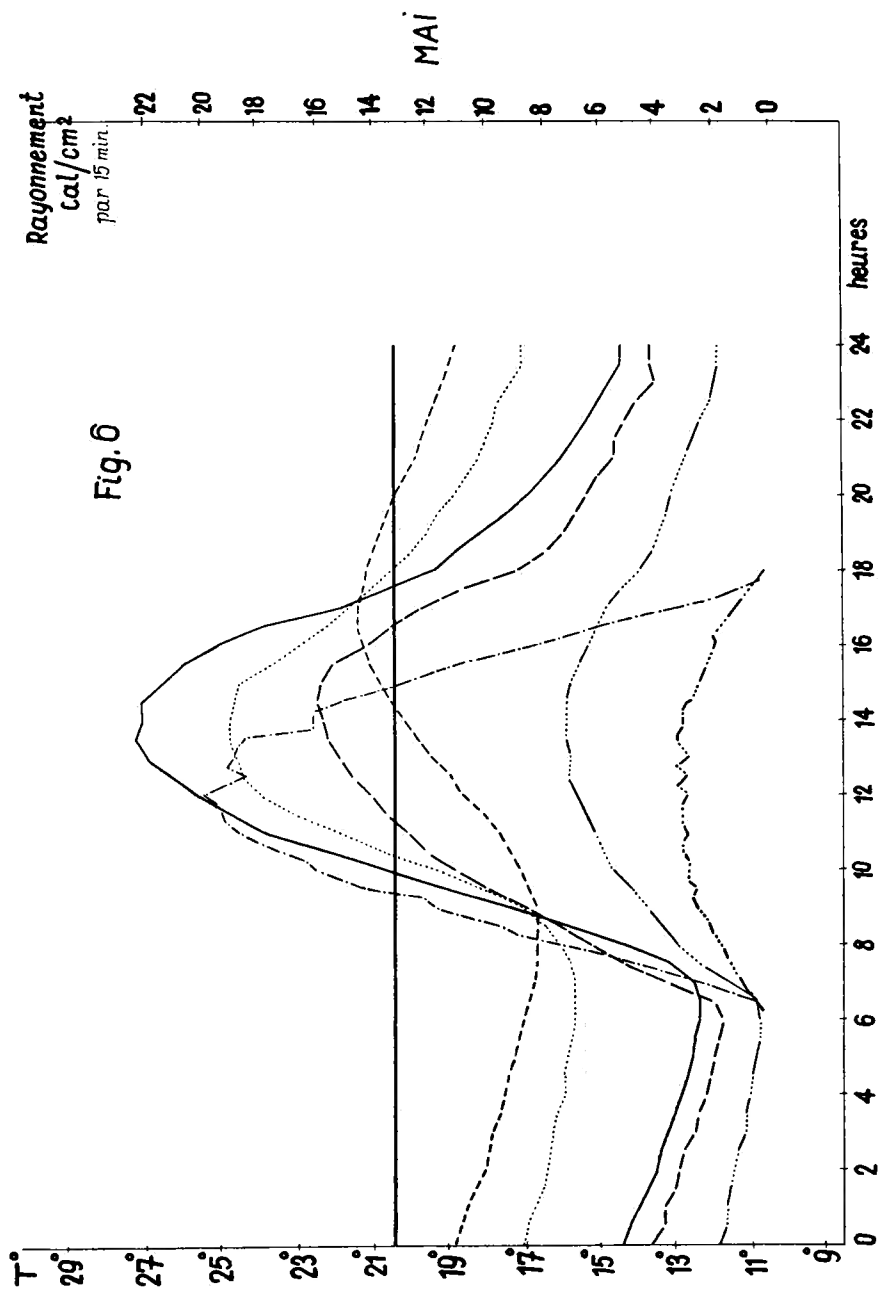


FIG. 6. — Variation diurne des températures et des rayonnements pendant le mois de mai,

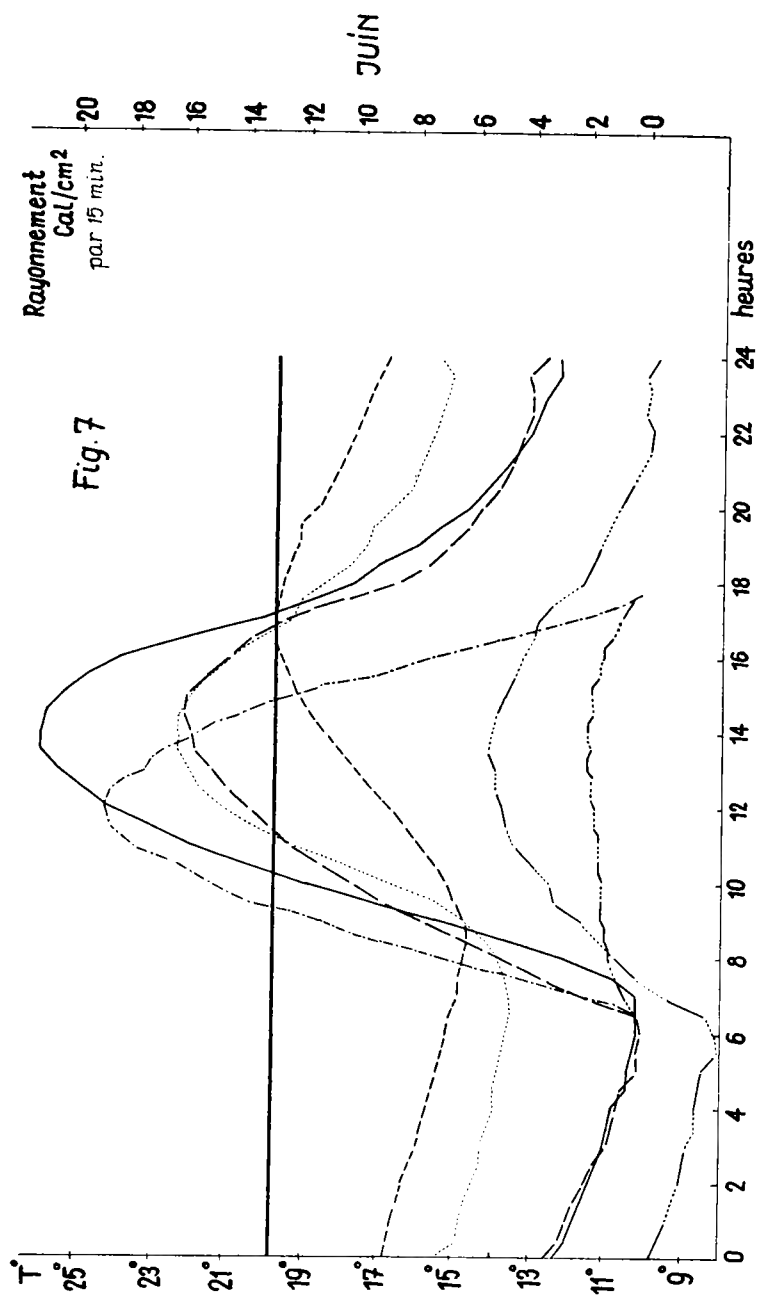


FIG. 7. — Variation diurne des températures et des rayonnements pendant le mois de juin.

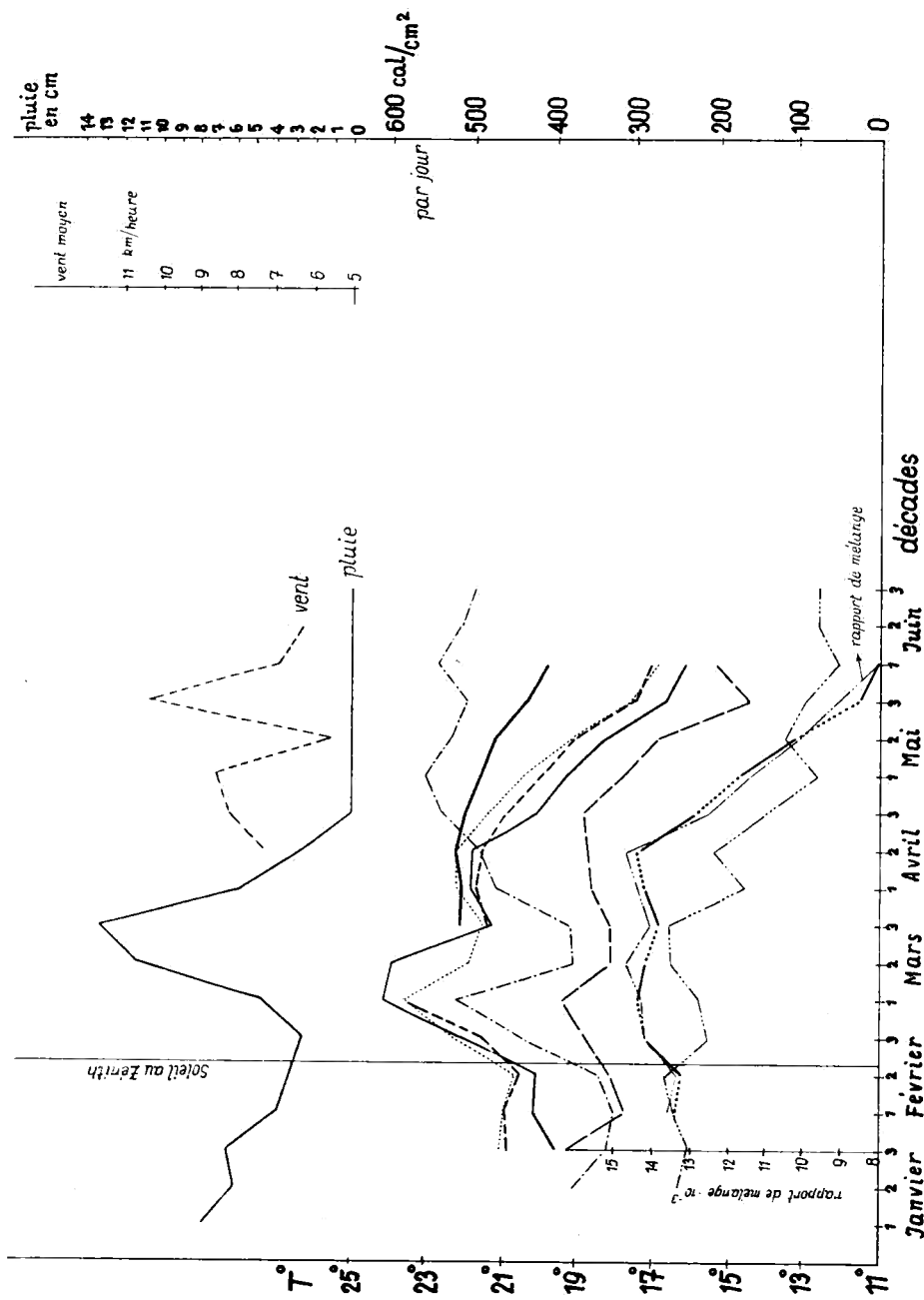


FIG. 8. — Variation annuelle des températures moyennes, du rayonnement moyen et des éléments météorologiques.

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos	3
PREMIÈRE PARTIE	5
Introduction	5
Le Photomètre	6
Détermination de l'altitude de la couche émettrice	8
Méthode de dépouillement	13
Résultats des observations	16
Conclusion	20
Bibliographie	21
DEUXIÈME PARTIE	31
Introduction	31
De l'utilisation des résistances pour la mesure précise des températures	32
Dépouillement des observations et étalonnage des instru- ments	35
Les résultats	37
Mesure du coefficient d'extinction en juin	39
Mesure de la diffusivité du sol	40
Conclusions	42
Bibliographie	43
Légende	45

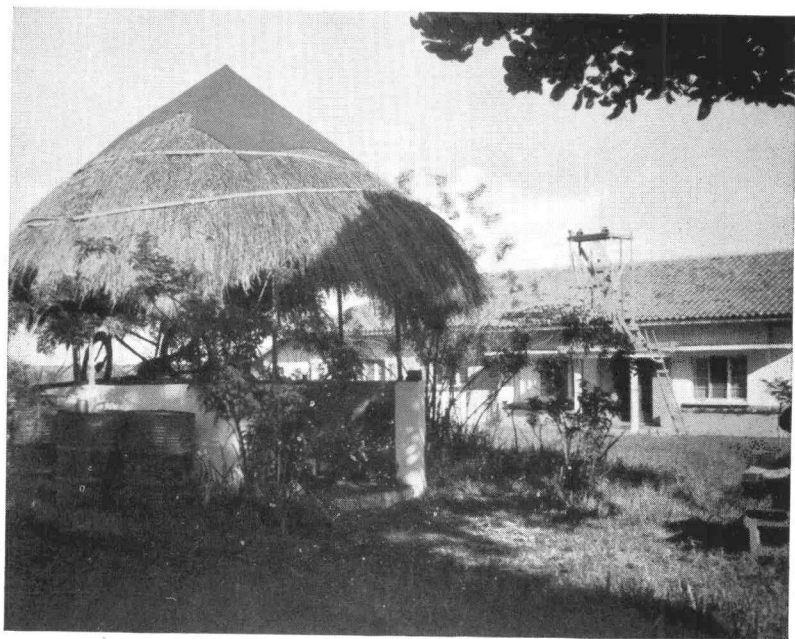


PHOTO 1. — Vue d'ensemble des installations extérieures à Bianco (Katanga), montrant :

- a)* La tour où sont montés les solarimètres et servant également pendant les nuits favorables au photomètre de ciel nocturne de ROACH;
- b)* La hutte contenant le groupe électrogène.



PHOTO 2. — La tour aux instruments à Bianco.

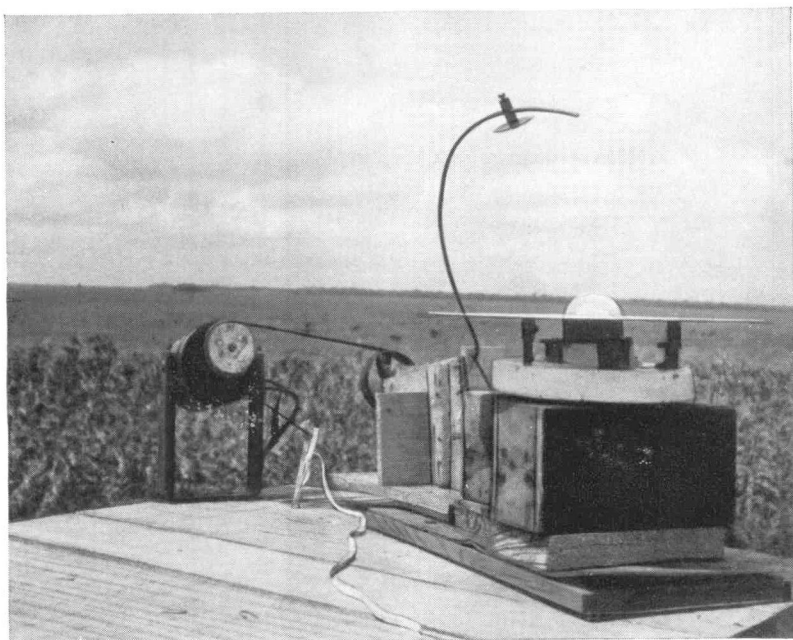


PHOTO 3. — Le solarimètre « pile de MOLL » avec le cache-soleil et son moteur installé sur la table de la tour à Bianco.

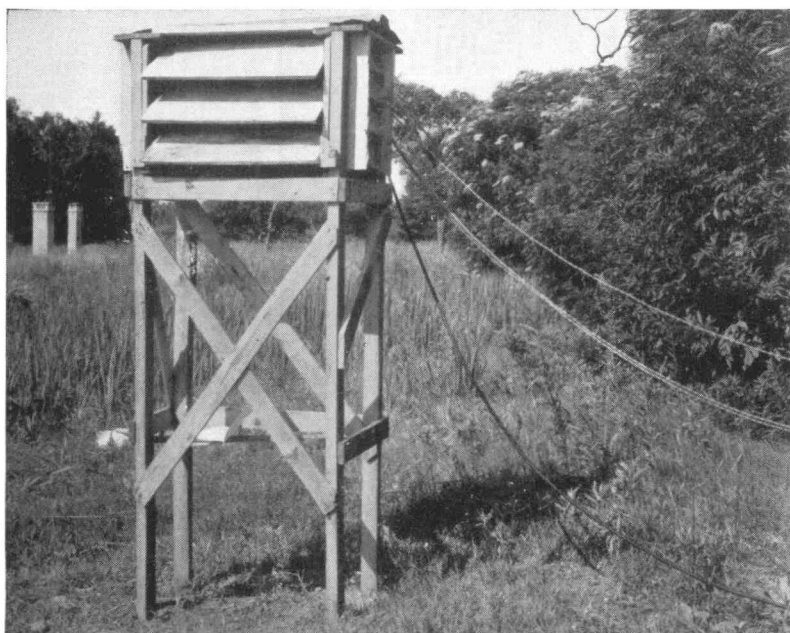


PHOTO 4. — Abri météorologique de fortune utilisé à Bianco et contenant les thermomètres à résistance, le psychromètre et un ventilateur.



PHOTO 5. — Solarimètre de FEUSSNER-LINK pointé sur le soleil par un indigène à Bianco.

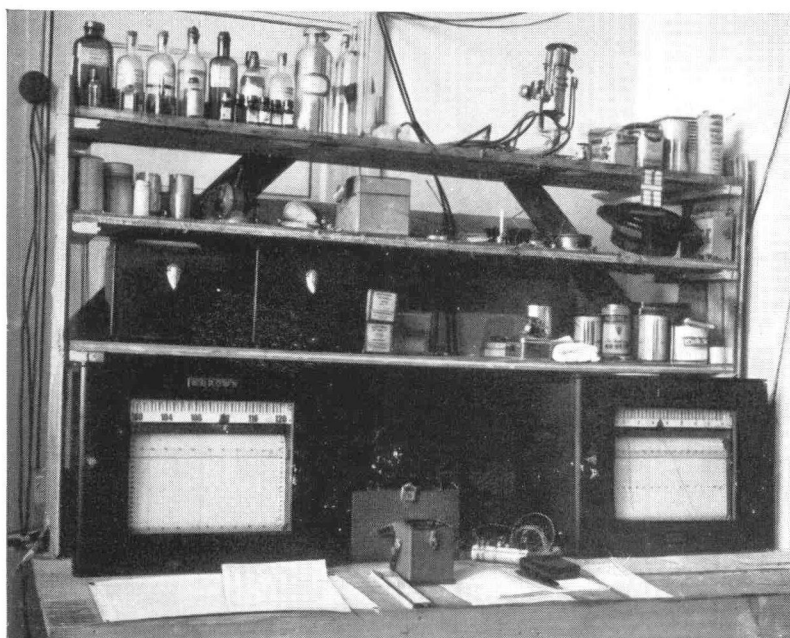


PHOTO 6. — Table et étagère de fortune pour les enregistreurs électroniques à servo-moteur de BROWN servant à l'enregistrement des températures et du rayonnement.



PHOTO 7. — Le photomètre de ciel nocturne de ROACH avec la boîte de contrôle, l'enregistreur et l'alimentation.



PHOTO 8. — La plateforme pour le photomètre construite à Panfontein (Afrique du Sud).

