

UNION GÉODÉSIQUE ET GÉOPHYSIQUE INTERNATIONALE
INTERNATIONAL UNION OF GEODESY AND GEOPHYSICS

ASSOCIATION INTERNATIONALE
D'HYDROLOGIE SCIENTIFIQUE

INTERNATIONAL ASSOCIATION
OF SCIENTIFIC HYDROLOGY

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE DE BERKELEY

19-8 — 31-8 1963

GENERAL ASSEMBLY OF BERKELEY

COMMISSION DES NEIGES ET DES GLACES
COMMISSION OF SNOW AND ICE

PRIX : 300 Frs belges

PUBLICATION N° 61

DE L'ASSOCIATION INTERNATIONALE D'HYDROLOGIE SCIENTIFIQUE

SECRETÉAIRE : L.J. TISON
BRAAMSTRAAT 61, (RUE DES RONCES)
GENTBRUGGE (BELGIQUE)

UNION GÉODÉSIQUE ET GÉOPHYSIQUE INTERNATIONALE
INTERNATIONAL UNION OF GEODESY AND GEOPHYSICS

ASSOCIATION INTERNATIONALE
D'HYDROLOGIE SCIENTIFIQUE

INTERNATIONAL ASSOCIATION
OF SCIENTIFIC HYDROLOGY

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE DE BERKELEY

19-8 — 31-8 1963

GENERAL ASSEMBLY OF BERKELEY

**COMMISSION DES NEIGES ET DES GLACES
COMMISSION OF SNOW AND ICE**

PUBLICATION N° 61

DE L'ASSOCIATION INTERNATIONALE D'HYDROLOGIE SCIENTIFIQUE

SECRÉTAIRE : L.J. TISON

BRAAMSTRAAT 61, (RUE DES RONCES)

GENTBRUGGE (BELGIQUE)

1963

I

**HEAT BUDGET AT THE SNOW SURFACE
BILAN DE CHALEUR A LA SURFACE DE LA NEIGE**

原
书
缺
页

原
书
缺
页

CONSIDÉRATIONS SUR LE BILAN THERMIQUE A LA STATION CHARCOT (ANTARCTIQUE)

C. LORIUS

Collège de France — Paris

RÉSUMÉ

Au cours de l'A.G.I. on a étudié le bilan thermique à la Station Charcot (69°30'S, 139°01'E); les mesures de rayonnement global incident et réfléchi permettent d'étudier le bilan radiatif dans le domaine du visible et de mettre en évidence, pour les journées claires, une relation entre l'albedo et la hauteur solaire. Le rayonnement effectif, dont la valeur est voisine de 40 cal/cm² jour durant les mois d'hiver, a été relié à la température de l'air dans les mêmes conditions de ciel clair.

Pour les périodes correspondant à une structure stable de l'atmosphère, la vitesse du vent varie, au-dessus du niveau 2 m, de façon linéaire en fonction de la hauteur au-dessus du sol; dans le cas d'une structure instable, le profil de vent est pratiquement logarithmique, profil en accord avec les mesures de répartition verticale de la chasse-neige.

Au cours de l'hiver 1957 (15 juillet — 1er septembre) le bilan thermique se décompose de la façon suivante, (cal/cm²/jour) :

— bilan radiatif	37,1
— contenu de chaleur du sol	2,4
— chaleur transférée sous forme de changements d'état et d'échanges convectifs	34,7

ABSTRACT

During I.G.Y. the heat balance was studied at Station Charcot (69°30'S, 139°01'E); the short wave radiation balance is calculated from global radiation and measurements of albedo of the snow. Under clear skies a linear correlation was found between the albedo and solar altitude. Under clear skies the net long wave radiation which is about 40 ly/day during the winter decreases with decreasing air temperature.

With a stable stratification, wind speed increases with height linearly above 2 m; in case of instable conditions, wind profiles are almost logarithmic. This is in good agreement with snow drift density measurements.

During the 1957 winter (July 15 — September 1) the mean value for the heat balance are (ly/day):

— radiation balance	37,1
— Δ heat content snow	2,4
— convective and sensible heat	34,7

I. — PROGRAMME DE MESURES, APPAREILLAGE, MÉTHODES

Au cours de l'Année Géophysique Internationale, l'étude des paramètres conditionnant le bilan thermique a été réalisée à la Station Charcot* (69°30'S, 139°01'E).

Les mesures de rayonnement ont été faites à l'aide de radiomètres absolus (pyrhéliomètre d'Angstrom, actinomètre de Linke et Feussner) et secondaires (thermopiles de Volochine avec coupelles de verre ou de Lupolen H.**), l'ensemble des appareils ayant été contrôlé avant le départ au Service du Rayonnement de l'Institut Royal Météorologique de Belgique; la durée de l'insolation a été enregistrée à l'aide d'un héliographe de Pers.

(*) Altitude	2.400 m
Température moyenne annuelle	- 38° C
Vent moyen	9,5 m/sec.

(**) Ces coupelles nous ont été gracieusement fournies par le Dr R. SHULZE.

Des détecteurs ont été placés sur une tour micrométéorologique d'environ 10 m de haut: ils ont permis d'enregistrer les vitesses de vent (anémomètres à coupelles Lambrecht) et les différences de température (thermorésistances Hartmann et Braun protégées contre le rayonnement) à 5 niveaux différents.

D'autres thermorésistances permettaient l'enregistrement de la température, dans le névé, jusqu'à une profondeur de 18 mètres, une étude plus détaillée étant réalisée entre la surface et deux mètres à l'aide de thermistors soigneusement étalonnés.

II. — BILAN RADIATIF*

La durée d'insolation en fonction du temps, mesurée sur les papiers héliographiques, est représentée fig. 1 (tableau 1); elle montre qu'aucune trace d'ensoleillement n'est pratiquement visible durant 2 mois d'hiver.

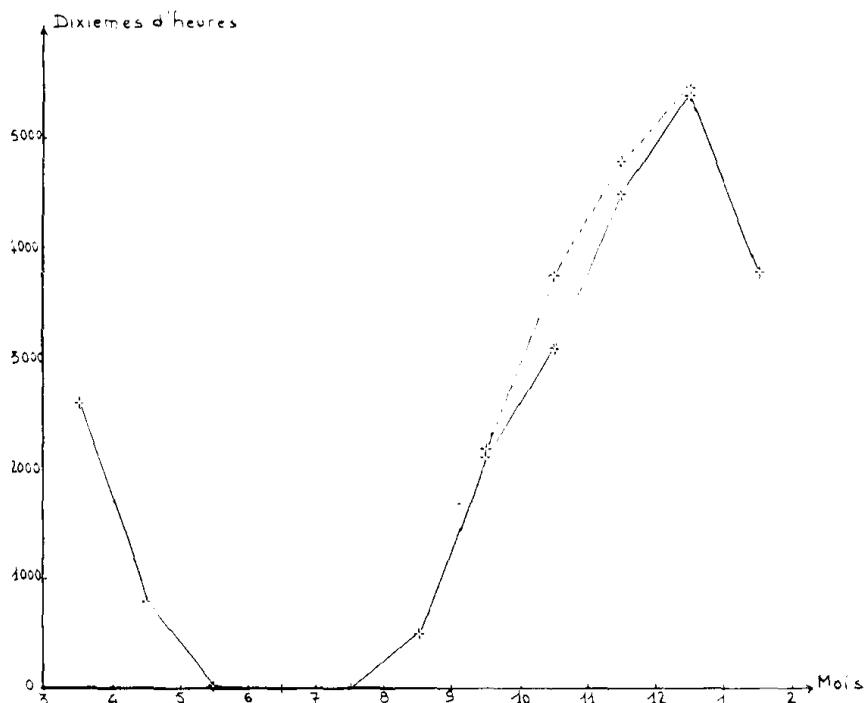


Fig. 1 — Station Charcot 1957 — Durée de l'insolation

Le bilan radiatif a pu être calculé dans le domaine du visible à partir des enregistrements du rayonnement global incident et réfléchi (fig. 2, tableau 2); les résultats obtenus pour la Station Pioneerskaya (1) dont les conditions sont comparables à celles de la Station Charcot ont été portés sur la même figure.

La mesure du rayonnement global durant les journées claires, au moment de la culmination (fig. 3) nous permet d'étudier la variation de l'albedo en fonction de la hauteur solaire (fig. 4, tableau 3). La mesure de l'albedo est un problème difficile pour de faibles hauteurs solaires ou sur un terrain accidenté; pourtant nos résultats mettent en évidence sa décroissance nette lorsque la hauteur solaire croît, de façon encore plus accentuée que dans le cas des résultats de G.H. Liljequist (2, short wave radiation,

(*) Toutes les valeurs sont données dans l'échelle I.P.S

TABLEAU I

Station Charcot — valeur de l'insolation mensuelle — (dixièmes d'heures)

MOIS	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
1957			2593	792	29	0	0	496	2133	3112	4503	5391
1958	3813								2154	3751	4830	5518

TABLEAU II

Station Charcot — Rayonnement global incident et réfléchi mensuel

ANNÉES	1957												1958	
	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	1957	1958
Rayonnement global incident	8717	2133	197	0	51	1006	5399	12872	21172	25490	22488	15347		
Rayonnement global réfléchi	7239	1834	175	0	45	880	4623	10905	17617	21242	18765	12313		

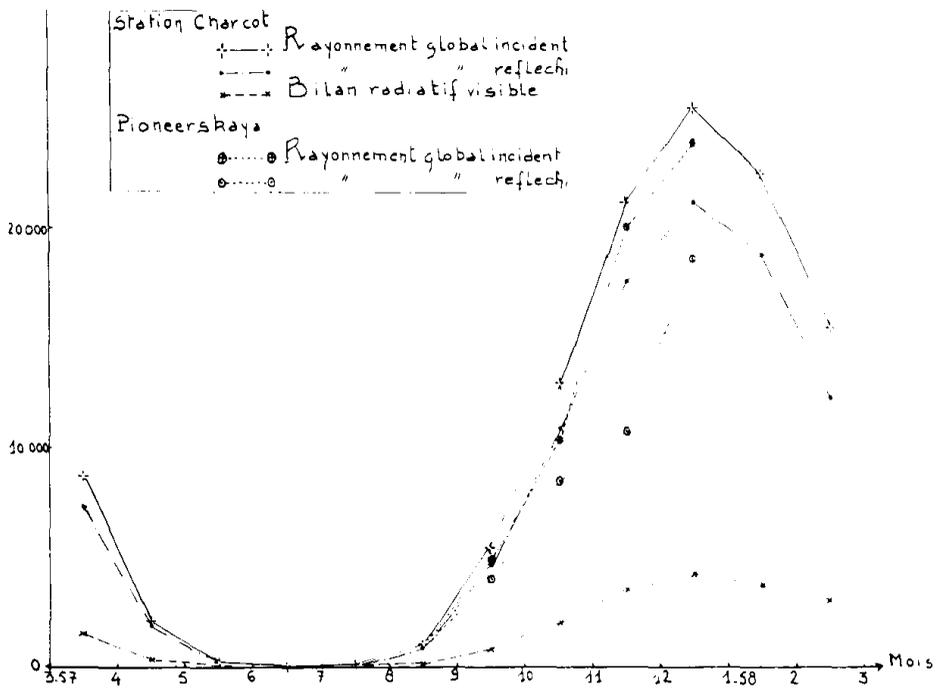


Fig. 2 — Station Charcot 1957 — Rayonnement global incident et réfléchi — bilan radiatif

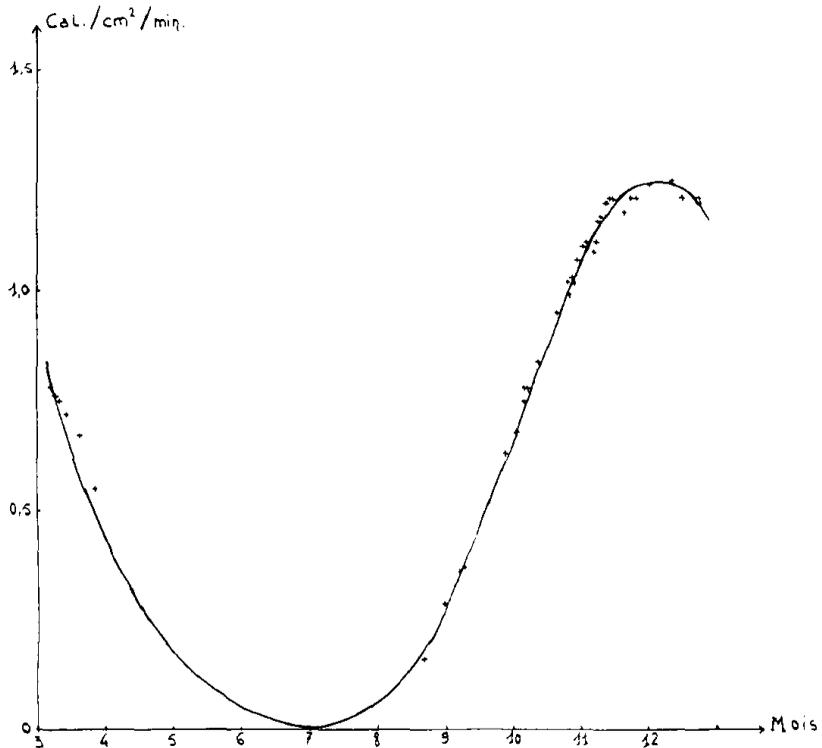


Fig. 3 — Station Charcot 1957. Jours clairs. Rayonnement global à la culmination

p. 89); par ciel couvert nous avons aussi obtenu des valeurs de ce coefficient supérieures à 0,90.

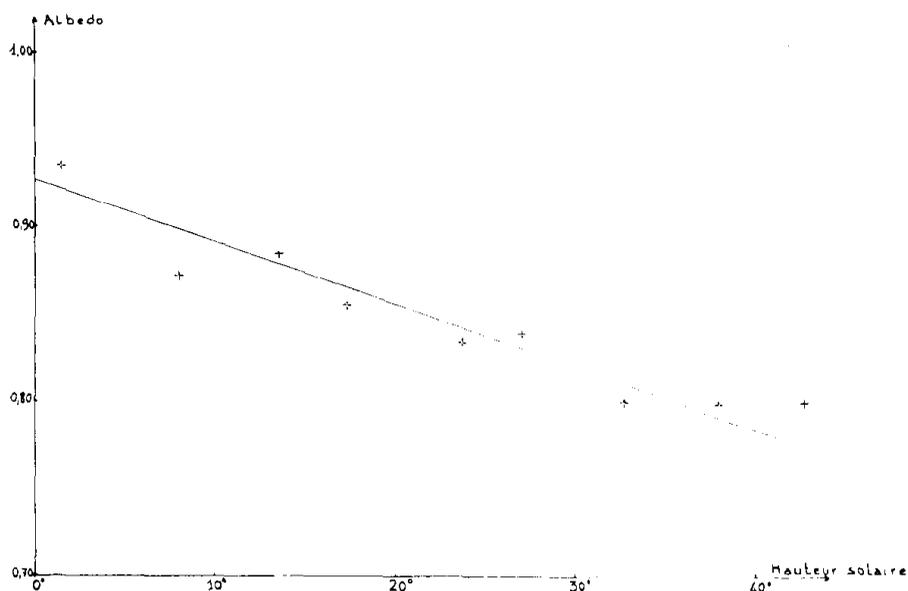


Fig. 4 — Station Charcot 1957 — Jours clairs — Variation de l'albedo en fonction de la hauteur solaire.

Le rayonnement effectif a été enregistré à partir de détecteurs constitués par des thermopiles recouvertes de coupelles en «Lupolen H». Les thermopiles ont été, dans ce cas, étalonnées à partir des appareils absolus dans le domaine du visible; la constante de transformation ainsi obtenue a ensuite été corrigée d'un facteur de 1,15, de façon à tenir compte de l'absorption du «Lupolen H» et de la sensibilité moindre du noir de fumée au rayonnement infra-rouge (3). Les mesures ont été rendues difficiles, particulièrement dans le cas de journées ensoleillées, par le manque de résistance mécanique des coupelles, la surface de celles-ci devenant irrégulière et partiellement dépolie sous l'influence de la chasse-neige.

Le rayonnement effectif ainsi mesuré a donné des valeurs moyennes de 39,1 et 43,3 cal/cm²/jour au cours des mois de juillet et août 1957, les chiffres correspondants pour Pioneerskaya étant (1) 38,7 et 51,6.

Dans le cas de journées avec ciel clair, il nous a été possible de mettre en évidence une relation moyenne entre la température de l'air et la valeur du rayonnement effectif (fig. 5, tableau IV). La perte radiative ainsi obtenue est très supérieure à celle donnée par H.C. Hoinkes* (4), mais en assez bon accord avec les résultats de G.H. Liljequist (2, long wave radiation and radiation balance, p. 126).

III. — STRUCTURE DE L'ATMOSPHÈRE AU VOISINAGE DU SOL

La structure thermique de l'atmosphère est fortement influencée par le vent catibatique soufflant pratiquement en permanence et, entre les niveaux 0 et 10 m, les gradients de température observés sont le plus souvent inférieurs à 0,5°C.

* Par suite de l'utilisation d'une nouvelle constante de calibration, les valeurs publiées doivent être multipliées par 1,49, ce qui conduit à une moyenne de 34 cal/cm²-jour⁻¹ pour l'hiver, en bon accord avec nos résultats.

TABLEAU III

Station Charcot — Jours clairs — Variation de l'Albedo en fonction de la hauteur solaire

	0° — 5°	5° — 10°	10° — 15°	15° — 20°	20° — 25°	25° — 30°	30° — 35°	35° — 40°	40° — 45°	Moyenne 1957-1958
Intervalles	0° — 5°	5° — 10°	10° — 15°	15° — 20°	20° — 25°	25° — 30°	30° — 35°	35° — 40°	40° — 45°	
Albedo	0,935	0,872	0,885	0,855	0,834	0,839	0,800	0,799	0,800	
Temperature moyenne	1°30'	8°	13°40'	17°12'	23°45'	26°58'	32°45'	37°55'	42°42'	
Nombre de mesures	2	2	3	4	11	14	12	22	26	

TABLEAU IV

Station Charcot — Jours clairs — Rayonnement effectif

Intervalles de température	-58°-53°C	-53°-48°C	-48°-43°C	-43°-38°C	-38°-33°C	-33°-28°C	-28°-23°C	-23°-13°C
Rayonnement effectif	2,61	-2,86	-3,51	-3,64	-4,35	4,57	5,00	-4,98
Température moyenne	54° 1 C	50° 7 C	45° 3 C	40° 0 C	35° 9 C	30° 8 C	26° 6 C	16° 1 C
Nombre de mesures	49	116	83	19	27	7	6	1

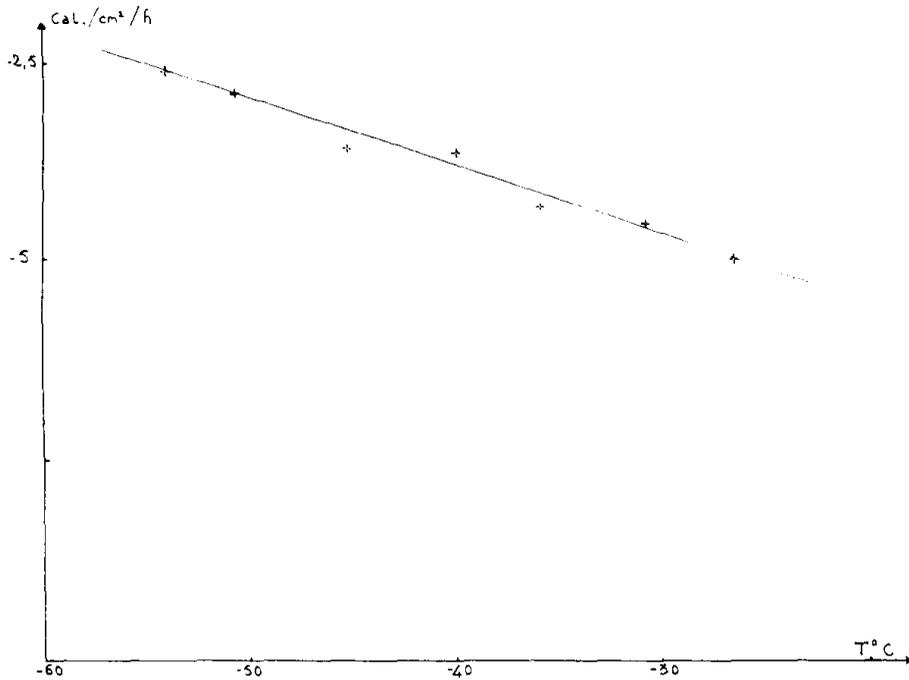


Fig. 5 — Station Charcot 1957 — Jours clairs — Rayonnement effectif

Nous avons choisi deux journées illustrant les différents types de structure que l'on rencontre.

Le 21 décembre, le bilan radiatif positif entraîne une structure instable de l'atmosphère; la vitesse du vent croît proportionnellement au logarithme de la hauteur. (fig. 6).

Cette représentation logarithmique a été vérifiée (5) aussi dans le cas de chasse-neige. (fig. 7). L'ensemble des mesures effectuées montre en effet, dans ce cas, une relation linéaire entre le logarithme de la chasse-neige et le logarithme de la hauteur au-dessus du sol.

Ceci s'explique en admettant une variation logarithmique pour la vitesse du vent: en effet si nous appelons A_z le coefficient d'échange à la hauteur Z , ρ la densité de l'air (regardée ici comme constante) et n_z la quantité de neige contenue dans l'unité de volume au niveau Z , l'état stationnaire exige que la quantité de chasse-neige entraînée vers le haut par turbulence soit égale à celle entraînée vers le bas par gravité. Ceci se traduit par l'égalité :

$$\omega n \rho = A_z \frac{\partial n}{\partial z} \quad (1)$$

ω étant la vitesse moyenne de chute des particules en air calme et $K_z = \frac{A_z}{\rho}$ le coefficient de diffusion virtuelle.

La variation logarithmique de la vitesse du vent s'exprime par la relation :

$$u = \frac{u^*}{K \cdot 0,4343} \log \frac{z - z_0}{z_0}$$

forme généralement admise depuis Rossby (1932) dans le cas d'un écoulement turbulent (u^* est la vitesse de friction et K est la constante de Karman).

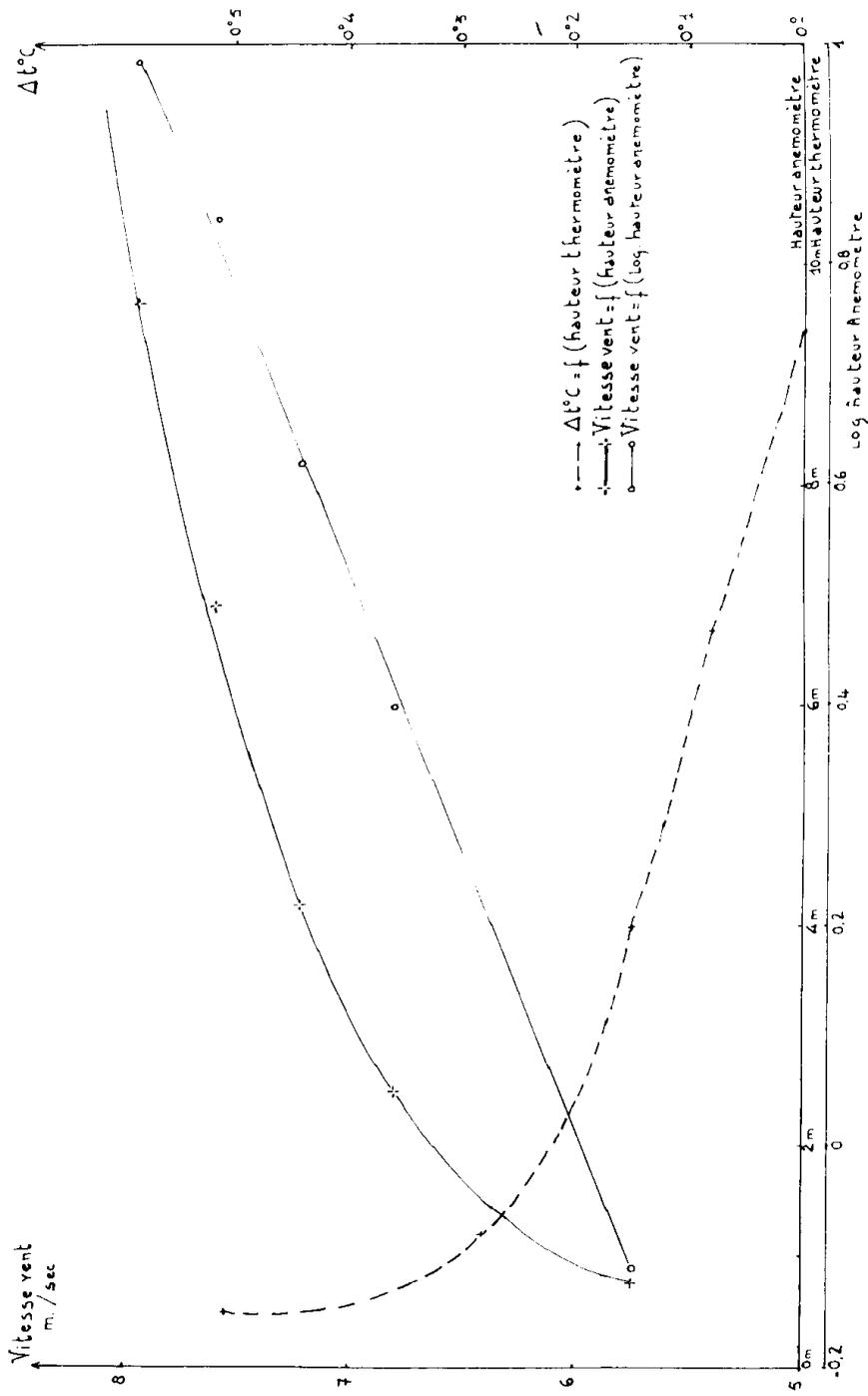


Fig. 6 --- Station Charcot 21 Décembre 1957 --- Structure de l'atmosphère

Z_0 (facteur de rugosité) étant très petit devant Z , nous utilisons la forme simplifiée :

$$u = \frac{u^*}{K \cdot 0,4343} \log \frac{z}{z_0} \quad (2)$$

Variation de la vitesse du vent et de la densité de chasse-neige en fonction de la hauteur au-dessus de la surface
14.11.57 — 10°00' - 12°30'

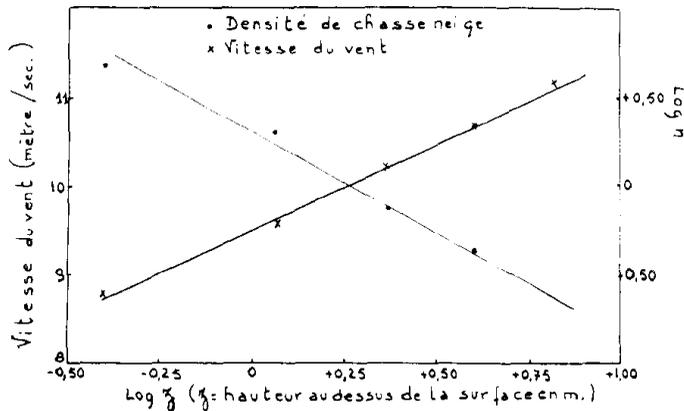


Fig. 7 — Station Charcot 14 Novembre 1957 — Structure de l'atmosphère et densité de chasse-neige

Dans cette représentation, la force de friction τ supposée constante dans les premiers décimètres, s'exprime par :

$$\tau = -K_z \rho \frac{\partial u}{\partial z}$$

ce qui nous donne, à partir d'une autre relation ($\tau = \rho u_*^2$) et en tenant compte de (2) :

$$Kz = -Ku_*^2 z \quad (3)$$

la comparaison des équations (1) et (3) conduit à :

$$\frac{\partial n}{n} = \frac{\omega}{Ku_*^2} \cdot \frac{\partial z}{z}$$

dont l'intégration donne :

$$\log n = a \log z + c, \text{ résultat conforme à nos mesures.}$$

Par contre, le 23 août, les courbes représentatives ont une allure notablement différente (fig. 8); à une structure stable de l'atmosphère correspond, au-dessus de 2 m, une variation pratiquement linéaire du vent en fonction de la hauteur.

Les profils obtenus au cours de l'année sont en général en accord avec ceux de ces deux journées types.

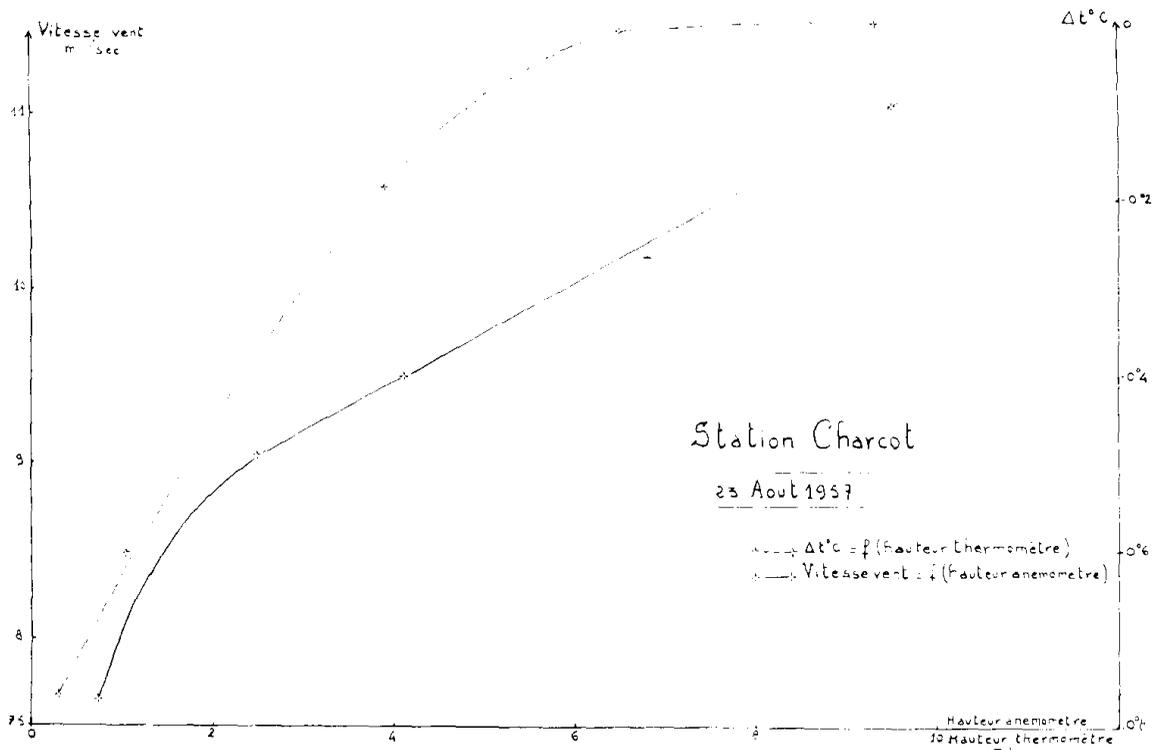


Fig. 8 — Station Charcot 23 Août 1957 — Structure de l'atmosphère

IV. — BILAN THERMIQUE DURANT UNE PÉRIODE DE L'HIVER 1957 (15 juillet-31 août)

$$(R_g - R_r) + R_e + Q_c + Q_E - Q_s$$

avec :

- R_g = rayonnement global
- R_r = rayonnement global réfléchi
- R_e = rayonnement effectif
- Q_c = échanges convectifs
- Q_E = échanges sous forme de changements d'état.
- Q_s = variation du contenu de chaleur du sol.

Au cours de la période considérée, la valeur de Q_s a été obtenue selon une méthode fréquemment utilisée (4) à partir des mesures de température effectuées dans le névé (fig. 9).

A partir de ces courbes le calcul a été effectué en utilisant la formule :

$$Q_s = \int_0^{\alpha} cQAt(z)dz,$$

en adoptant pour la chaleur spécifique de la glace c la valeur de 0,43 cal/g/°C et en utilisant les mesures de densité effectuées en profondeur (5).

On trouve ainsi que le contenu de chaleur du sol a varié de 116 cal/cm² durant cette période. En respectant l'équation du bilan thermique nous pouvons donc écrire :

$$130 - 1911 + Q_c + Q_E = - 116$$