

DISCUSSION.

FOURNIER D'ALBE. — I have asked for about 10 or 15 m to make a few comments on what Dr. Dommanget said this morning. The heavy artillery will come later.

I see that meteorology and astronomy have this in common, that they are both observational sciences, not experimental ones. The difference is that in meteorology the observational data are both inadequate and generally inaccessible, that is to say they are hidden away in the dusty files of meteorological services. I would add from personal experience in four continents that they are sometimes unreliable as well. We should not be discouraged by this, but it means that, in each programme of site testing or exploration, one should take along quite a lot of meteorological equipment and, if possible, a meteorologist. I would say that the first thing to do, in the area which your preliminary investigations may have narrowed down to a radius of about 100 or 200 km, is to go and see the local meteorologist. He often knows quite a lot about the local weather and cloud patterns, from watching the sky day after day. If there is no meteorologist on the spot, go and see the farmers, or the local priest or someone like that.

The second general remark I would like to make concerns the period of observation. We should not be too worried about only making observations for a year or two. They must of course last a year, but to make a definitive study of the climate of a particular area is quite out of the question, unless you are prepared to wait 30 or 40 years. The climatological normals, which describe the "official" climate of different parts of the world, are based generally on 35-year periods, but we already know that the normals for the period 1900-1935 are not entirely valid for the present time. There are changes, even long-term changes.

Now, I think I would just like to take point by point the main climatological elements, listed by Dr. Dommanget and state in simple terms a few general theorems.

Cloudiness is a phenomenon with a great deal of local variability but it is generally known that there is more cloud over mountains than over plains. That is the sort of general theorem which it is fairly safe to state. It applies particularly to convective clouds during the daytime but may also apply to the higher types of cloud as well. The latter may be cirrus, or false cirrus which is formed when the anvil tops of cumulus clouds are carried away by the wind at high levels. Over the Andes you often see false cirrus streaming out over Argentina for

several hundred kilometres. On the other hand, among mountains the local topography does have a great influence and may result in significant differences in cloudiness within a few kilometres. In the Pyrenees, cumulus clouds often appear over the same spots day after day and the big cumulonimbus clouds later on build up over these same spots. It does seem that mountains are not particularly good places to put observatories for observations during the day. During the night of course, the situation is rather different and your mountain top may be above stratus and strato-cumulus and therefore in a better situation than the plain.

Now the question is how to supplement the available data. You can post observers in the selected region, which may be a few hundred kilometres square, and tell them to note the clouds they see. This is fairly satisfactory if they are well trained and know how to distinguish one cloud from another, but it would be better to have some objective method of recording clouds. I cannot think of anything better than the *whole-sky camera*, taking photographs every half-hour or so. It will give you an objective record of the pattern of cloud and show immediately, probably within a few months, what is the local pattern of convective cloud.

I think the next point mentioned was *rainfall*. Here again, mountainous areas normally have more rainfall than plains. The rain gauge is probably the most commonly used meteorological instrument. Their reliability is not very high, but they do give you an idea of which areas have more rain than others and therefore more clouds.

Now we come to *wind*; I gather wind is of interest to astronomers firstly because it is associated with turbulence and bad seeing, and secondly because it shakes your dome and maybe your telescope. That seems to me a question of observatory architecture, of the design of domes. In mountainous places where the topography is "accidenté", as they say in French, there is more turbulence, and here again mountainous areas seem to be less suitable for observatories than plains. I am beginning to wonder why astronomers are always putting observatories on mountains. Is it that they want to get nearer the stars? However, there must be a reason why they put them on mountains, and I suppose it is to do with temperature.

Temperature variations originate at the ground and the daily amplitude decreases as you move away from the surface. The isolated mountain provides the easiest way of doing this. Alternatively, one may perhaps try to minimise temperature fluctuations by selecting a suitable surface. A snow-covered surface reflects a great deal of incoming radiation and causes less diurnal variation of temperature and therefore less convective turbulence. A water surface is good too.

In any case, you need to know the diurnal variation of temperature from site to site in a fairly small area. For this, one uses thermometers, of course, and usually one puts them in standard screens in order to obtain data which are comparable from site to site. However, one must remember that the temperature in a screen does not represent the temperature in an observatory dome or, for that matter, anywhere else.

Now to come to *humidity*. The measurements of humidity is not very far advanced, but I think it is probably of secondary importance because the absolute humidity does not vary very much over distances of a few tens of kilometres; what does vary, of course, is the relative humidity.

I think there was one important omission in the list of elements given by Dr. Dommaget and that was *atmospheric opacity*, which has not really been discussed here yet. I mean by opacity neither the absorption by basic constituents of the atmosphere nor molecular scattering, but rather the scattering by particules. I understand that not only for solar observations but also for observations of faint stars the contrast between the star and the sky background is important. In the report of the I. A. U. Working Group it is stated in general terms that air of tropical origin is less transparent than that of polar origin. This is a generalisation based on observations made in Europe, but it is far from being universally valid. I think it is worth while noting that smoke from cities can cause visible phenomena in the atmosphere up to 500 and even up to 1000 km down wind from a fairly large industrial city; for instance, the smoke from Mexico City, which is not a highly industrial city, is quite visible from aircraft 200 or 300 km down wind and this must surely affect seeing.

To measure scattering there are quite simple instruments such as the actinometer which is fairly cheap and gives a direct measurement of the intensity of sunlight. There are other ways of getting a relation between direct intensity and scattered light which are even simpler.

SCORER. — I am not well-known for my politeness and I shall speak in the tradition of the Royal Meteorological Society in which no criticism is withheld for personal reasons. I think that the approach of Dr. Dommaget was wrong.

The first approach that you should make should be to a meteorologist and not to the meteorological records because the only people who can tell you how to make the best use of these records are the people who made them, and the people who belong to the organization which made them. As Dr. Fournier d'Albe said, you should talk to the meteorologists in the areas in which you are interested, because they have made all the observations and they know where cloud occurs. It is not necessary to make years of observations; the meteorologists

can tell you straight away most of what you want to know, they know it already.

I hope that my manner of speaking will not prevent you from coming and talking to me, not that I know very much about any part of the world, but I hope you will start with me and continue with others later on. In any National Meteorological Service there are people who know about different parts of the world. As for collecting statistics and finding correlations between them, this is fine if you want something to occupy you, so that your children may build an observatory. The use of statistics is the last resort of the scientist, not the first.

I would like to discuss now two phenomena which seem to me important — *precipitation and inversions*.

It was explained that rain removes particles from the atmosphere and, by way of example, storms in desert regions which produce “red rain” have been quoted. This indicates that the rain brings particles down, but it is those same storms which are responsible for most of the red dust being carried upwards, and so that there is a much higher concentration of particles where it is raining. Therefore a correlation between rainfall and material removed is not very informative!

On the other hand, the clearance which typically occurs after rain in Europe is largely due to the replacement of a dusty air mass by a cleaner mass, and is not due to the removal of particles by rain. The cleaner air has often come down from a higher level.

Inversions were not included in Dr. Dommanget’s list. They are a well-known phenomenon to meteorologists but are not included in any of the climatological records. The following are important aspects of inversions.

1. Inversions are often very sharp haze tops; from above the top of the layer of polluted air is clearly visible as a sharp horizon.

2. Inversions are not only the upper limit of dense pollution but may also be where the tops of extensive cloud layers are found, and it is therefore important to discover whether they tend to form above or below a site.

Inversions are often the upper limit reached by convective clouds (cumulus), and this will cause the clouds to spread out over a large area. However there is often a strip of land along a coastline in which, because of the sea breeze, the convection layer is less deep and there are no clouds. Also the air here is less dusty than the air farther inland. Such clear strips are common along coasts where inversions are persistent and where there is not extensive cloud over the open sea.

3. Above very persistent inversions, the air is much cleaner; in some areas, such as the mountains of Eritrea, during several months of the year the mountain tops are above a “sea of clouds” all the time.

The tops of the mountains of the Canary Islands are also above the inversion for long periods. The meteorological records from lower level stations would not reveal this.

4. Inversions are often found at the snow line, which is the limit reached by convection up the heated mountain sides. Therefore, for many days in the year observatories above the snow line are not troubled either by pollution, refraction by convection currents, or obscuration by convection clouds.

STOCK. — Will you permit me one personal remark. I could add quite a bit of information on inversions in South America, so we can assure the meteorologists that this is one phenomenon astronomers are quite familiar with.

SIEDENTOPF. — I should like to add to this discussion a few words on the ground layer of the atmosphere in which our astronomical instruments are situated. This ground layer has a thickness of about 20-50 m. It is followed by the convection layer that contains most of the dust content of the atmosphere and goes up to 1000-1500 m during wintertime and 3500-4000 m during summertime under the conditions prevailing in Central Europe. The top of the convection layer is usually formed by an inversion.

The vertical temperature gradient in the ground layer in cloudless weather follows the law (z , height above ground) :

$$\frac{dT}{dz} \approx A z^{-b}$$

where the exponent b generally lies near 1.0. During daytime the gradient is negative with a value at 1 m above the ground of about $A \approx -0.8^\circ\text{C}/\text{m}$ in summer and $A \approx -0.1^\circ\text{C}/\text{m}$ in winter. This layer of superadiabatic gradients goes up to 40-50 m in summer and to only 5 m in winter. The mixing of cold and warm elements with great differences in temperature in this unstable layer gives rise to very bad seeing. During the night — already from about 1 h before sunset to 1 h after sunrise — the temperature gradient becomes positive and has a value of $A \approx 0.3^\circ\text{C}/\text{m}$. This strong inversion reaches to a height of near 20 m and is nearly independent of the season. Mixing of this stable layer by wind gives rise to cold and warm eddies side by side. The resultant disturbances of seeing are mainly confined to the layer of 20 m thickness where the gradient of temperature is high enough to cause the observable differences in refraction for adjacent light-rays. If the astronomical instruments are brought to a height of 25 m above ground the disturbing effects from the groundlayer can

be avoided during the night. For solar observations it seems necessary to go still higher above the ground with the observing instrument.

This general picture of the ground layer — mainly taken from the book of R. Geiger (1961) — may be changed by local effects. Not much is yet known about the influences of ground coverage, of humidity and wind, of the orographic conditions, of the neighbourhood of large water surfaces, etc. The only means of testing an observatory site seems to be a careful study of temperature gradients, temperature fluctuations, and deflection or modulation of light rays in the ground layer.

CIALDEA. — Je crois que les données des réseaux météorologiques ne sont pas suffisantes pour les astronomes. En effet, il est très important de connaître la qualité des jours clairs. Les réseaux météorologiques peuvent donner la nébulosité, le vent, la température, etc., mais ils ne peuvent donner une idée sur la turbulence optique.

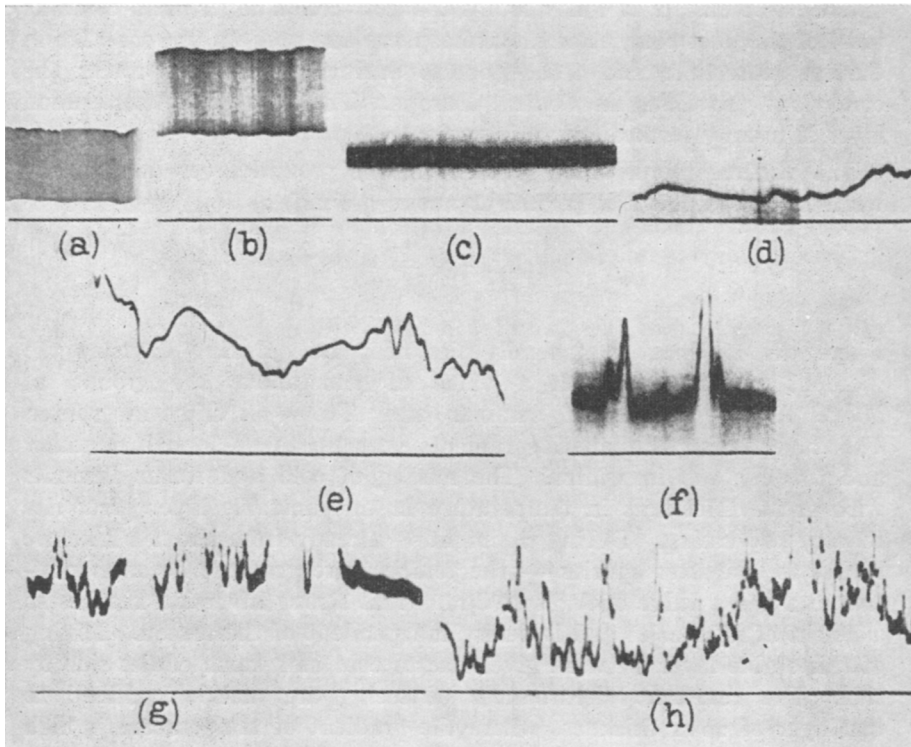


Fig. 18. — Polarisation de la lumière du ciel diurne pour divers aspects du ciel (voir détails dans le texte).

Je crois qu'il y a une grandeur qui peut définir la qualité optique du ciel, il s'agit de la polarisation de la lumière diffusée par le ciel. Mais c'est une grandeur qui malheureusement n'est observée ni dans les observatoires astronomiques, ni dans les observatoires géophysiques. Depuis plusieurs années, je fais des observations systématiques de la polarisation de la lumière diffusée. Je vais vous présenter une photographie des enregistrements obtenus pour la mesure de la polarisation. Cette mesure est faite avec un instrument comportant une cellule photo-électrique et dirigé vers le pôle céleste. Cet instrument comporte également un polaroïde animé d'une rotation continue. Les enregistrements (*fig. 18*) présentent des oscillations formant une bande noire très étroite. On voit sur la présente figure plusieurs parties des enregistrements obtenus. On distingue l'axe des origines ainsi que la bande mesurant les diverses intensités de la lumière : la largeur de la bande est proportionnelle à l'intensité de la lumière polarisée et la hauteur du bord inférieur de la bande est proportionnelle à la demi-intensité de la lumière naturelle. Voici les divers aspects du ciel au cours des enregistrements :

- a. $P = 0,65$: Ciel serein, bleu;
- b. $P = 0,31$: Ciel bleu, lavé de blanc;
- c. $P = 0,12$: Altostratus mince;
- d. $P = 0,00$: Altostratus épais ou nimbostratus;
- e. $P = 0,00$: Stratocumulus opaque;
- f. $P = 0,15$: Deux cumuli épais sous un ciel voilé;
- g. $P = 0,08$: Stratocumulus translucides sous un ciel voilé;
- h. $P = 0,00$: Stratocumulus translucides.

En conclusion, je crois que les observations continues du degré de polarisation doivent être très utiles, spécialement au cours des journées où apparaissent des valeurs élevées de la polarisation (enregistrements *a* et *b*) pour lesquelles les réseaux météorologiques se bornent à noter : nébulosité nulle.

Ces mesures doivent sans aucun doute présenter une corrélation avec la qualité des images.

DOMMANGET. — Je crois devoir faire quelques commentaires concernant les objections faites par le Professeur Scorer à la suite de mon exposé introductif.

Tout d'abord, je constate avec plaisir combien les météorologistes semblent montrer de l'intérêt à l'égard de certains points de vue que je viens de développer, points de vue qui ne sont pas uniquement personnels mais qui sont aussi ceux, je crois, de la plupart des astronomes intéressés à la recherche de sites d'observatoires.

En ce qui concerne certaines objections d'ordre « technique » faites par le Professeur Scorer, il est bien entendu qu'il nous faut faire confiance

dans la compétence du groupe des météorologistes ici présents lorsqu'ils relèvent certaines imprécisions ou inexactitudes dans les interprétations faites par les astronomes au sujet de phénomènes atmosphériques particuliers.

Mais, vous nous conseillez, Prof. Scorer, de rejeter tout résultat statistique comme document de base dans la recherche d'un site d'observatoire et de nous adresser bien plutôt directement aux services météorologiques responsables des observations faites dans le pays à prospecter. Or, je suis là entièrement de votre avis. Je crois d'ailleurs avoir toujours agi de la sorte.

En effet, d'abord en ce qui concerne mon rapport de ce matin, je n'aurais pas osé l'établir sans pouvoir profiter pour cela de la compétence d'un météorologiste, en l'occurrence de M. L. Dufour de l'Institut Royal Météorologique de Belgique.

Ensuite, mes collègues et moi-même, participant à la prospection pour le choix du site de l'Observatoire Européen en Afrique du Sud, nous nous sommes adressés à plusieurs reprises aux responsables du Weather Bureau de Pretoria où nous avons d'ailleurs toujours été très aimablement accueillis et renseignés. Mais je dois signaler que les seuls éléments de discussion dont nous avons pu disposer d'un point de vue pratique, furent des cartes et tableaux statistiques précisant les situations saisonnières dans les différentes régions climatiques de l'Afrique du Sud. Pour obtenir plus, il aurait fallu disposer sans doute d'un important personnel affecté à l'établissement des renseignements nécessaires sans qu'il eût été certain pour autant d'en tirer tout ce dont nous avions besoin.

Finalement, vous trouverez une preuve de notre désir de rencontrer les météorologistes dans le fait que nous nous trouvons réunis ici avec vous, dans une même salle de conférences, précisément dans l'espoir que nous aurons des échanges de vues profitables.

POLLAK. — I agree completely with Prof. Scorer that the first step, when a site for an observatory has to be selected, should be to approach the meteorological Service concerned and to have a discussion with the meteorological expert who has personal knowledge of the area.

I am however of the opinion that the files and records of the meteorological Services can supply very useful material on the conditions to be expected in an area under review. Since most meteorological Services now use punched cards, they can supply not only averages of all elements but the still more valuable frequency distributions, correlations, etc. in a very short time. I speak from experience, since I introduced the punched card system into climatology in 1927; the U. S. A. followed in 1934 and the U. S. Weather Bureau has now 600-million cards of

meteorological observations covering many decades and all parts of the globe.

I emphasise this point in order to impress on the astronomers not to waste their time extracting meteorological observations from publications (yearbooks) and computing characteristics of lower or higher order (see CONRAD and POLLAK, *Methods in Climatology*, Harvard University Press, U. S. A., 1950) but to leave this work to the Meteorological Services.

Now, Prof. Scorer told us that the meteorological services are unable to supply information on e. g. inversions. That may be so when no observations exist in the region. He has just shown us a picture of an inversion cloud photographed from the peak of the Milešovka (Bohemia, Č. S. S. R.). I can assure you that the observatory on the Milešovka of which I was Director until 1939, recorded regularly these inversions, the visibility from the summit in every azimuth, etc.

Finally, in spite of all this, it is necessary to make meteorological observations at the selected site for about three years, in order to collect special information on phenomena not always recorded in the "Remarks" column of the monthly meteorological register, but which are important for astronomical work.

QUENEY. — A la suite de l'exposé de M. Dommanget, je voudrais faire deux remarques.

La première concerne le rôle de la stabilité statique de l'air, qui est manifestement un facteur essentiel parmi ceux qui déterminent la turbulence et qu'on pourrait par suite ajouter à la liste de facteurs proposés par M. Dommanget. Cette stabilité est forte surtout dans les couches d'inversion de température, dont plusieurs orateurs ont déjà parlé; mais ils n'ont peut-être pas assez insisté sur le fait que dans une telle couche, la stabilité réduit fortement la turbulence de petite échelle et tend par suite à améliorer les images. En fait, la diminution de la turbulence a aussi pour conséquence la diminution des échanges verticaux, donc l'accumulation des poussières et de la brume, mais si celle-ci n'est pas trop dense, les images peuvent néanmoins être meilleures qu'avec une stabilité moindre (à ce sujet, il y aurait intérêt à s'informer auprès d'observatoires tels que celui d'Alger, qui en été se trouve presque en permanence à la limite supérieure d'une couche d'inversion). J'ajouterai aussi que la stabilité favorise le développement d'ondes de gravité et que de telles ondes peuvent être une source de turbulence optique en raison des fluctuations de densité qu'elles peuvent créer à la limite supérieure de l'inversion; mais ces fluctuations ont une échelle de temps nettement plus grande que celle de la turbulence dynamique couramment observée près du sol.

La seconde remarque que je voudrais faire, mais qui a déjà été faite par le Professeur Pollak, concerne les statistiques météorologiques; celles-ci ne consistent pas seulement en des valeurs moyennes, beaucoup de stations donnent également des courbes de fréquence moyenne pour chaque mois, notamment pour la nébulosité. Or, pour les astronomes, il est évidemment plus intéressant de connaître la probabilité d'avoir un ciel clair ou couvert, que de connaître simplement la nébulosité moyenne.

DOMMANGET. — Ceci ne me paraît pas encore suffire pour arriver à chiffrer avec précision le nombre moyen de nuits présentant des caractéristiques données. Pour cela, il faut posséder les observations faites chaque nuit individuellement et procéder au décompte des nuits (ou des jours) correspondant aux caractéristiques souhaitées pour l'observation astronomique.

QUENEY. — Certains auteurs ont proposé une climatologie par type de temps (j'en ai moi-même proposé une pour l'Algérie). Une telle climatologie semble particulièrement intéressante dans les contrées où, comme en Algérie, il n'existe qu'un petit nombre de types de temps dominants : au lieu de mélanger ces différents types, comme on le fait dans les statistiques courantes, la climatologie proposée donne, au contraire, des moyennes séparées pour chaque type, ce qui est certainement plus utile.

Enfin, je voudrais ajouter quelques précisions concernant l'influence du vent, car jusqu'ici on a surtout considéré le vent près du sol, alors que le vent en altitude joue un rôle souvent plus important. Je parlerai d'abord de la couche de frottement, ensuite des jet-streams.

Un résultat sans doute peu connu est que dans la couche de frottement surmontant tout sol continental (son épaisseur est en moyenne de 1 km aux latitudes tempérées), la variation diurne du vent s'inverse à partir d'une assez faible hauteur, de l'ordre de 150 m en hiver, 400 à 500 m en été : alors que près du sol, la vitesse du vent passe, en général, par un minimum la nuit et par un maximum le jour, c'est l'inverse qui se produit plus haut. Le schéma ci-contre (*fig. 19*) précise ce point, en indiquant comment évolue la variation verticale de la vitesse du vent entre le jour et la nuit à la latitude de Paris. On voit qu'au sommet de la Tour Eiffel, situé à une hauteur de 300 m environ au-dessus du sol environnant, le renversement par rapport à ce dernier ne s'observe qu'en hiver. Or, ce phénomène a pour conséquence que pendant la nuit la turbulence est généralement très faible près du sol, mais au contraire plus importante que le jour vers la hauteur où se produit le renversement, cela à cause du fort gradient vertical de la vitesse du vent régnant à cet endroit. Donc, même si l'on ne considère

que la turbulence dynamique des basses couches, il est nécessaire de tenir compte de ce phénomène.

A plus grande altitude, les jet-streams constituent aussi une très importante source de turbulence, étudiée systématiquement depuis quelques années au moyen d'enregistrements faits par avion. On sait qu'un jet-stream consiste en une forte concentration de la vitesse du vent sous la forme d'un courant atmosphérique relativement étroit, le plus souvent au voisinage de la tropopause (entre 8 et 15 km d'altitude).

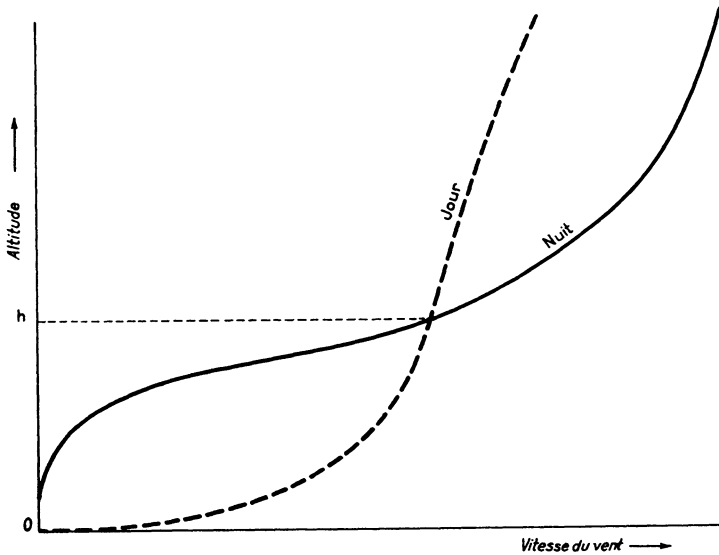


Fig. 19. — Variation verticale de la vitesse du vent sur un continent :
 h est de l'ordre de 150 m en hiver, 400 à 500 m en été.

Lorsqu'on fait une coupe transversale d'un tel courant, on obtient pour la répartition du vent longitudinal un diagramme dans le genre de celui de la figure 20 montrant que la tropopause est interrompue du côté polaire de la partie centrale du jet-stream et qu'à cet endroit le gradient horizontal du vent est très fort, ce qui favorise le développement d'une turbulence d'échelle moyenne ou « mésoturbulence », consistant en des perturbations de 50 à 300 km d'échelle horizontale. Dans ces perturbations, il y a une forte prédominance des déplacements horizontaux sur les déplacements verticaux, mais elles créent à leur tour une turbulence d'échelle aéronautique où, par contre, on peut avoir de grandes vitesses verticales (et aussi de grandes accélérations verticales, constituant un danger pour les avions modernes). C'est cette dernière turbulence qui seule intéresse les astronomes, tout au moins

en ce qui concerne la qualité des images; elle est d'ailleurs fortement influencée par le relief (indirectement par l'intermédiaire de la mésoturbulence), et plus généralement il y aurait lieu de parler ici du rôle du relief dans la turbulence atmosphérique. Mais je crois que M. Scorer désire intervenir à ce sujet et c'est pourquoi je n'en dirai rien de plus.

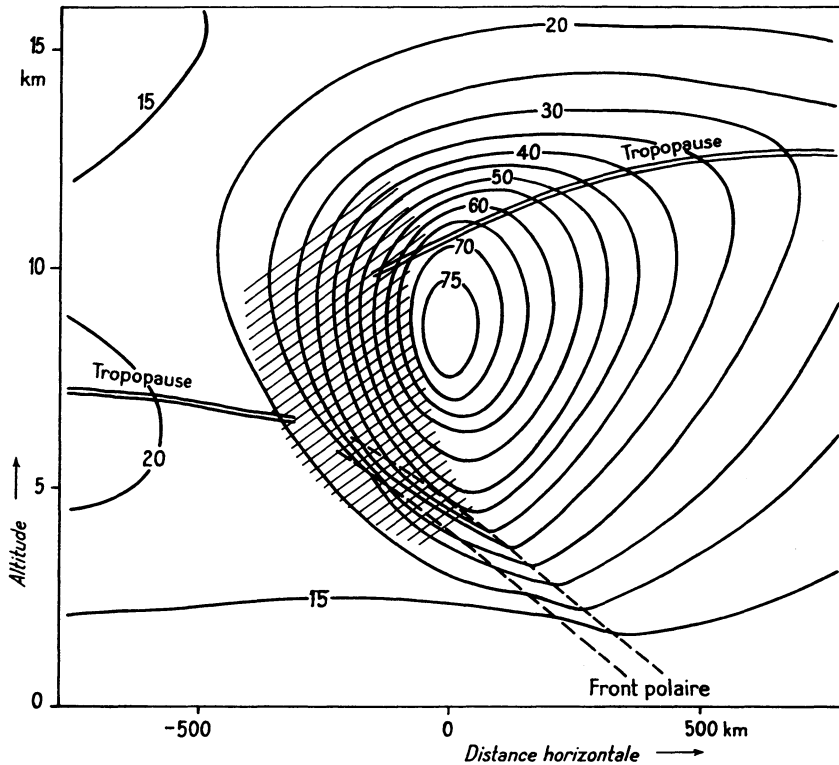


Fig. 20. — Section transversale d'un jet stream-polaire : courbes d'égale vitesse de vent (en mètres par seconde) et zone de forte turbulence (hachurée).

SCORER. — To Dr. Dommanget, just one little remark. We are all human, and this includes the directors of Meteorological Services. The people that you must see are the people who have spent many months or years in the places you are interested in, and if the director of the Meteorological Service does not introduce you, then you must go yourself and speak to them.

Secondly, about polarisation; I did not quite understand why polarisation is important because it is always the same at a given angle from the Sun. Z. Sekera, in California, has written extensively on this subject and I think that any meteorologist would refer you to him.

CIALDEA. — Pour éliminer l'effet diurne de l'angle fait par la direction du rayon solaire et la direction de visée de l'appareil, je vise seulement le Nord céleste. Il ne subsiste alors qu'une variation annuelle qu'on peut calculer puisque l'angle fait par la direction du Soleil et la direction de visée est fixe pendant un jour en première approximation naturellement. Pendant toute la journée, le degré de polarisation dépend exclusivement du type des diffuseurs, selon qu'il y a un diffuseur moléculaire ou blanc. Je fais les enregistrements continuellement pendant le jour.

