

APPENDICE

RAPPORT

DU GROUPE DE TRAVAIL POUR LA RECHERCHE
DES SITES D'OBSERVATOIRES.

(Union Astronomique Internationale, Sous-Commission 9 b.)

Introduction. — Le Groupe de Travail institué dans le cadre de la Commission 9 b pour étudier le problème de la recherche des sites d'observatoires optiques envisage son rôle comme suit :

Les raffinements techniques et l'augmentation de la puissance des instruments qui conditionnent les progrès de nos connaissances astronomiques ne peuvent donner leur plein effet que s'ils sont mis en œuvre dans une station où les limitations dues à l'atmosphère terrestre sont aussi réduites que possible. En conséquence, le Groupe de Travail a estimé devoir étudier le problème exclusivement sous l'angle de la valeur astronomique des sites sans entrer dans les considérations d'ordre matériel qui sont des cas d'espèce et dont l'examen et l'appréciation relèvent des promoteurs de chaque entreprise. Il est à noter en particulier que l'amélioration des moyens de transport permet d'ores et déjà de ne pas exclure des régions dont il n'aurait pu être question il y a quelques années, et que leur développement prévisible incite à n'en exclure aucune *a priori*.

On doit noter également que la tendance actuelle consiste à traiter de façon distincte les stations d'observation et les centres d'exploitation des résultats. Il s'ensuit qu'on est en droit d'envisager la spécialisation des stations d'observation dans les travaux les plus susceptibles de bénéficier de leurs conditions atmosphériques propres, et, inversement, de classer et choisir les emplacements de ces stations selon les critères les plus spécifiquement adaptés aux genres d'observations qu'on se propose d'y faire.

La question se pose de savoir si, de notre connaissance actuelle des phénomènes, se dégagent des principes généraux permettant de prévoir les conditions de l'observation astronomique en un certain lieu à partir des seules données météorologiques et orographiques. Il est manifeste que de tels principes, s'ils étaient établis, faciliteraient considérablement la recherche des sites d'observatoires. Or, leur mise en évidence éventuelle ne peut résulter que d'une confrontation massive de documents météorologiques et orographiques d'une part, astronomiques d'autre part. Cette

masse peut — et doit — être accumulée à la fois dans le temps par des études *prolongées* faites dans les observatoires existants, et en surface par des explorations suffisamment denses faites en des régions diverses.

Le Groupe de Travail estime donc devoir s'attacher avant tout à promouvoir des techniques et des méthodes susceptibles d'être appliquées aussi uniformément que possible de façon à permettre :

— dans l'immédiat, une comparaison significative d'un point à un autre et par conséquent un choix en connaissance de cause;

— dans la suite, une étude générale des corrélations entre les paramètres locaux et les propriétés astronomiques, parallèlement à l'étude suivie des mêmes corrélations dans les observatoires existants.

Ceci posé, le présent rapport sera divisé en quatre chapitres dont les objets respectifs seront les suivants :

1. Définir les caractéristiques atmosphériques propres à qualifier les sites d'observatoires et proposer une nomenclature adéquate.
2. Examiner les méthodes pratiques pour évaluer ces caractéristiques.
3. Proposer un schéma pour la mise en œuvre de ces méthodes au cours d'une prospection.
4. Formuler des recommandations dans le domaine assigné au Groupe de Travail.

1. **L'atmosphère terrestre.** — Le problème tel qu'il a été délimité ci-dessus se trouve concentré sur l'atmosphère terrestre considérée comme élément de transfert de l'information entre l'objet et le récepteur. Il importe donc en premier lieu de définir quelles sont les propriétés de cet élément susceptibles d'influencer l'information recueillie. On examinera ensuite les effets optiques résultant de ces propriétés.

1.1. PROPRIÉTÉS. — Parmi les propriétés atmosphériques intéressant l'Astronomie, celles permettant une première discrimination dans la recherche de sites d'observatoires, sont des données météorologiques : la *nébulosité*, les *précipitations*, le *vent*, ainsi que leurs variations diurnes et saisonnières. A la suite de celles-là, on devra faire intervenir celles plus directement liées au transfert de l'information astronomique : *l'absorption*, *la diffusion* et *les inhomogénéités de réfraction*.

Pour que les statistiques soient représentatives, il faut que les mesures d'ont sur un temps suffisamment long. Elles devraient être effectuées à des instants assez rapprochés au cours de la journée ou de la nuit pour pouvoir représenter les variations diurnes et également être assez fréquentes au cours de l'année pour faire apparaître les variations saisonnières.

Il est même hautement souhaitable que les données soient accumulées au cours de plusieurs années de façon à tenir compte autant que possible des différences de l'une à l'autre.

1.1.1. La nébulosité n'est pas uniquement caractérisée par la fraction de ciel couvert, mais aussi par les divers types de nuages, lesquels n'influencent pas de la même manière l'observation astronomique. La présence de cirrus, en particulier, n'est pas toujours mentionnée dans

les comptes rendus d'observations météorologiques, alors qu'elle est d'une grande importance pour l'Astronomie.

D'autre part, la distribution d'une couverture nuageuse partielle peut présenter un caractère systématique à ne pas négliger.

1.1.2. Les données fournies par les stations climatologiques au sujet des précipitations sont parmi les plus nombreuses. Faute de mieux, elles peuvent suppléer au manque d'information sur la nébulosité, en ce sens que des précipitations impliquent de la nébulosité, la réciproque n'étant pas nécessairement vraie.

1.1.3. Le vent intervient soit par les effets dynamiques ou thermodynamiques résultant de son passage sur les obstacles du relief (compressions et détentes adiabatiques provoquant des fluctuations de densité donc d'indice de réfraction; condensation de nuages locaux), soit par apport ou évacuation d'éléments absorbants (poussières, gouttelettes, nuages), soit encore simplement par création de gradients variables d'indice de réfraction.

En général, on a la possibilité de recueillir des informations sur les vents ayant des effets orographiques. Il sera plus difficile d'en obtenir sur les vents ayant des effets de transport à échelle relativement grande. Par contre on peut espérer avoir des renseignements plus complets sur les vents de très haute altitude (*jet-stream*), capables de produire des effets de réfraction importants et dont la connaissance se généralise en raison de ses applications pratiques.

Conjointement à l'étude des effets orographiques du vent, on sera amené à considérer certains effets thermiques locaux également liés au relief mais aussi à la nature du terrain.

1.1.4. Parmi les facteurs intervenant dans l'absorption atmosphérique, on peut citer les molécules (en particulier la vapeur d'eau), les poussières, et les gouttelettes en suspension. L'étude de la variation de l'absorption en fonction de la longueur d'onde peut fournir des indications précieuses sur la nature et l'abondance de l'absorbant.

Il importe de noter que la seule diffusion moléculaire écarte du faisceau direct une fraction importante de l'énergie, surtout dans les courtes longueurs d'onde.

Il n'est pas suffisant de connaître l'absorption au zénith ou dans une seule direction, des effets systématiques en azimut ou en hauteur liés à l'origine locale des éléments absorbants pouvant jouer un rôle important.

1.1.5. La diffusion atmosphérique, qui redistribue l'énergie dans le voisinage de la source étudiée et cela différemment selon la longueur d'onde, ne peut devenir importante que moyennant une perte d'énergie déjà considérable dans le faisceau direct. En conséquence c'est l'absorption totale qui constitue, en général, le phénomène essentiel, la diffusion ne jouant un rôle important que pour l'observation de la couronne solaire, dont la brillance est de l'ordre du millionième de celle de la photosphère voisine.

Mais un autre phénomène peut avoir des inconvénients plus généraux : c'est la diffusion, par l'atmosphère, de la lumière issue d'une source brillante autre que l'objet observé (Lune ou lumière terrestre).

1. 1. 6. Les inhomogénéités de réfraction trouvent leur origine soit dans les couches basses et moyennes de l'atmosphère par suite des effets orographiques et thermiques, soit dans des couches plus élevées qui ne rencontrent pas d'obstacles terrestres mais sont le siège d'écoulements non laminaires. Les gradients d'indice sont proportionnels aux gradients de densité, ceux-ci résultant essentiellement de gradients de température. En effet, ces gradients de température peuvent être le résultat direct de l'irruption d'une masse d'air à température différente, mais ils apparaissent aussi comme le résultat secondaire et beaucoup plus durable de compressions et détente adiabatiques lors de fluctuations de pression. Les composantes de ces fluctuations se propageant très vite ne peuvent conduire en effet qu'à des gradients faibles.

1. 1. 7. En ce qui concerne l'absorption et la diffusion, on peut s'attendre à ce qu'une station plus élevée soit plus favorisée. En ce qui concerne les inhomogénéités de réfraction, les effets orographiques peuvent être plus importants ou moins importants selon la situation locale ; les effets dus aux couches moyennes seront probablement réduits, tandis que ceux dus aux couches très élevées seront naturellement inchangés.

A l'échelle du globe, on doit noter que l'air polaire est moins chargé en particules absorbantes que l'air tropical et qu'en conséquence, on pourra trouver dans une station de latitude élevée des conditions de transparence et de diffusion équivalentes à celles d'une station de basse latitude mais d'altitude plus élevée.

1. 2. EFFETS. — 1. 2. 1. Les incidences des premiers paramètres météorologiques cités (nébulosité, précipitations, vent) sont évidentes. Toutefois, les caractères de leurs variations diurnes et saisonnières doivent être considérés en regard des types d'observation astronomique projetés. En effet chacun de ces types implique une échelle de temps dans les séries d'observation et il importe que cette échelle puisse s'accorder avec celle des variations météorologiques (cas des observations d'étoiles variables de diverses périodes, observation d'une région particulière du ciel, très longues poses photographiques, etc.).

1. 2. 2. En ce qui concerne les effets de l'absorption, on se souviendra qu'un gain d'une demi-magnitude équivaut à l'emploi d'un objectif de diamètre accru d'un quart. Cependant, cet accroissement d'efficacité n'est pas le seul avantage qu'on puisse attendre du choix d'un emplacement bénéficiant d'une bonne transparence. On a toute chance en effet d'y trouver aussi de moindres variations de l'absorption soit d'un point à l'autre du ciel, soit au cours d'une même séance d'observation.

Ces remarques acquièrent une importance d'autant plus grande qu'on s'éloigne plus vers les domaines infrarouge ou ultraviolet.

1. 2. 3. Comme il a été dit précédemment, le seul exemple courant où les effets de la diffusion de la lumière de la source étudiée pourront être

rédhibitoires est celui de la couronne solaire. Aussi, paraît-il judicieux de ne pas lier la recherche d'un emplacement de coronographe à celle d'un site d'observatoire polyvalent.

Par contre, la diffusion par l'atmosphère de la lumière provenant de la Lune ou d'une source terrestre ajoute de l'énergie à celle du fond du ciel. Elle est donc fondamentalement gênante dans tous les cas d'observation ou le rayonnement du ciel nocturne intervient déjà.

1.2.4. Les inhomogénéités d'indice de réfraction dans l'atmosphère ont pour effet d'introduire, suivant les différents rayons initialement normaux à une surface d'onde plane, les différences de marche telles qu'à l'arrivée sur l'ouverture de l'instrument, la surface d'onde présente des déformations dont l'amplitude varie d'un point à l'autre.

1.2.4.1. Considérons une surface d'onde figée dans sa forme à l'arrivée sur l'objectif. Elle est, d'une façon générale, formée de portions plus ou moins étendues approximativement planes, raccordées entre elles par des régions à courbures plus prononcées. Supposons que nous ouvrons progressivement devant l'objectif un diaphragme de diamètre initialement très petit. Tant que l'ouverture est moins étendue que la facette devant laquelle elle se trouve, l'objectif donne de l'étoile une image très peu différente de l'image de diffraction théorique correspondant à cette ouverture.

Lorsque la portion de surface d'onde couvrant l'ouverture devient légèrement gauche, la figure de diffraction prend l'aspect de celle donnée par un objectif entaché d'astigmatisme (anneaux comportant des condensations brillantes).

Lorsque l'ouverture commence à intéresser plusieurs facettes, les figures de diffraction que donnerait chacune de ces facettes isolément interfèrent entre elles et fournissent une figure complexe comprenant plusieurs maximums d'éclairement. Si l'ouverture devient assez grande pour englober un nombre élevé de facettes, entre lesquelles peuvent exister des différences de marche importantes, la complexité des systèmes d'interférence tendra à donner une image étendue et sans structure bien définie. A plus forte raison obtiendra-t-on un tel aspect lorsque, comme dans le cas réel, il y aura superposition de tout un domaine spectral.

Les surfaces de raccordement entre les facettes, du fait de leurs courbures, répartissent l'énergie qui les traverse dans un grand angle solide, de sorte qu'elles contribuent peu à l'éclairement du plan focal au voisinage de l'axe.

1.2.4.2. Considérons maintenant la succession des phénomènes dans le temps, en supposant comme ci-dessus qu'on augmente progressivement l'ouverture. Si elle est très petite, la portion de surface d'onde qu'on isole peut être pratiquement toujours assimilée à un plan, dont la direction fluctue continuellement. Il s'ensuit que l'image a toujours l'aspect de la figure de diffraction théorique, mais que son centre se déplace autour d'une position moyenne. Dans le cas d'une portion de surface d'onde gauche, à ces mouvements du centre de l'image s'ajoutent des déplacements

des condensations sur les anneaux, en raison des changements d'orientation des sections principales de la surface.

Quand l'ouverture contient un grand nombre de facettes, les mouvements de plus en plus indépendants des différentes structures de l'image et leur dilution progressive tendent à réduire les déplacements du point moyen de cette image étendue. Ces déplacements paraissent encore réduits lorsque le temps d'intégration du récepteur n'est pas négligeable vis-à-vis des temps de parcours moyens entre les positions extrêmes.

1.2.4.3. La distribution de l'énergie sur une telle surface d'onde n'est pas uniforme. Elle l'est par contre sur chaque portion assimilable à un plan, mais l'amplitude diffère de l'une à l'autre. Lorsque ces portions planes se succèdent devant une petite ouverture, on a toujours la même image de diffraction théorique, à centre mobile, mais son éclaircissement fluctue continuellement. Lorsque l'ouverture est plus grande, les fluctuations d'éclaircissement des différentes structures de l'image mentionnées précédemment se compensent dans l'ensemble et dès lors l'énergie reçue dans l'image tend à se stabiliser.

1.2.4.4. On voit que l'importance relative des trois types d'effets observés dépend essentiellement du rapport entre la dimension moyenne des facettes et celle de l'objectif utilisé, le premier devenant prépondérant quand l'ouverture augmente, le second diminuant au profit du premier, et le troisième allant en s'atténuant.

1.2.4.5. Quant il s'agit d'un champ étendu, les déplacements des images diffèrent d'un point à l'autre, les faisceaux correspondants ayant traversé des masses d'air distinctes. Il en résulte une distorsion continuellement variable de la figure d'ensemble.

1.2.4.6. Il est clair que la déformation de la surface d'onde n'a pas les mêmes caractères suivant l'épaisseur de la zone perturbatrice, sa distance à l'observateur, sa structure spatiale et l'amplitude des fluctuations de densité qu'elle comporte. Par suite, à des valeurs différentes de ces éléments correspondront des types différents de perturbation de l'image, dans lesquels il y aura prépondérance de l'un ou l'autre des défauts indiqués ci-dessus.

1.2.5. Comme il a été dit dans l'introduction, tous les types d'observation n'entraînent pas les mêmes exigences. Parmi les effets mentionnés ci-dessus, donc, un ordre d'importance est à établir selon le programme envisagé. Le Groupe de Travail ne croit pas nécessaire d'entrer dans le détail de cette discrimination, que chaque utilisateur pourra faire aisément.

1.3. TERMINOLOGIE. — La littérature laisse apparaître une déplorable confusion dans les termes utilisés jusqu'ici dans ce domaine. Il est donc essentiel de recommander une nomenclature basée sur les différents types d'effets observés et qui ont été décrits ci-dessus.

1.3.1. L'expression *qualité des images* couvre convenablement l'ensemble du problème. Elle a été adoptée par l'Assemblée générale de l'U. A. I.

lors de sa réunion à Dublin, en 1955, pour le titre de la Sous-Commission qui en a été chargée (*Transactions de l'U. A. I.*, vol. 9, p. 28 et 71).

Il a déjà été recommandé lors de la réunion de la Sous-Commission 25 b à Moscou (*Transactions de l'U. A. I.*, vol. 10, p. 388) que cette expression *qualité des images* soit substituée au terme *seeing*. Le Groupe de Travail insiste sur le fait que ce mot n'a aucune valeur descriptive spécifique et qu'il a été employé, néanmoins, dans des acceptions et sous les formes les plus diverses. En conséquence, et pour éviter le retour aux difficultés antérieures, le Groupe de Travail recommande que le terme *seeing* ne soit plus utilisé.

1.3.2. Les termes *détérioration* et *amélioration* devraient être réservés à l'indication d'une tendance générale, sans spécification d'un type particulier de phénomène.

1.3.3. Les trois caractères indiqués ci-dessus (§ 1.2.4) suffisent à décrire les phénomènes constatés dans le plan focal lors de l'observation d'une source ponctuelle.

Le Groupe de Travail recommande qu'à chacun de ces caractères soient attachés respectivement les termes suivants :

— *altération*, pour les écarts entre la distribution des éclaircissements dans le plan focal et la figure de diffraction théorique, en fonction de la forme de la surface d'onde sur l'étendue de l'objectif; le terme *étalement* pourra être employé lorsque l'altération est extrême et que les détails de la structure de la figure de diffraction s'effacent;

— *agitation*, pour les déplacements du barycentre de ces éclaircissements au cours du temps, déplacements qui traduisent les fluctuations de position du plan d'onde moyen; l'agitation, caractère barycentrique, est distincte de la variation de l'altération au cours du temps; le terme, consacré par l'usage, de *turbulence optique*, désigne de façon précise l'angle au sommet du cône à l'intérieur duquel oscille la normale à la surface d'onde;

— *scintillation*, pour les fluctuations dans le temps de l'énergie totale reçue par l'image.

Le terme *distorsion* a déjà été introduit ci-dessus pour désigner les effets différentiels de l'agitation sur un champ étendu.

Les mots *altération* et *distorsion* sont proposés pour la première fois dans ce domaine. Le mot *agitation* a déjà été utilisé et toujours avec la signification indiquée ici. Quant au mot *scintillation*, le Groupe de Travail ne fait que lui rétablir la signification étymologique dont il n'aurait jamais dû être détourné.

1.3.4. Tous les mots français employés ci-dessus peuvent être traduits littéralement en quelque langue usuelle que ce soit sans ambiguïté sur leur signification physique. En particulier, on aura les équivalences suivantes :

Qualité des images = Quality of images = Bildqualität = Качество Изображения.

Détérioration = Deterioration = Verschlechterung = Ухудшение.

Amélioration = Improvement = Verbesserung = Улучшение.

Scintillation = Scintillation = Szintillation = Мерцание.

Agitation = Image motion = Unruhe = Дрожание.

Altération = Blurring (1) = Bildstörung = Размывание.

Distorsion = Distorsion = Bildverzerrung = Возмущение.

2. **Les techniques d'observation.** — 2.1. Les techniques des mesures météorologiques sont suffisamment fixées et bien adaptées au but poursuivi pour que le Groupe de Travail n'ait pas à s'y attarder, du moins en ce qui concerne les précipitations, la vitesse et la direction du vent, ainsi que le degré hygrométrique et la température. Il paraît toutefois utile d'attirer l'attention sur la question de l'évaluation de la nébulosité, à propos de laquelle les exigences propres au présent problème dépassent ce qu'on peut habituellement trouver dans les relevés météorologiques.

2.2. Il conviendrait à ce sujet de s'en tenir à la division habituelle du ciel en octats, mais d'y ajouter des indications concernant la répartition des nuages, leur nature (en particulier les cirrus) et leur distribution en azimut sur le ciel, celle-ci pouvant présenter un caractère systématique très important à considérer ultérieurement dans le choix des sites.

Pour une nébulosité inférieure à deux octats, le Groupe de Travail considère comme fondamentale une spécification *exacte* de la distribution des nuages sur le ciel, en azimut et en hauteur.

De plus il conviendrait de faire la distinction entre la nébulosité de nuit et la nébulosité de jour. La nébulosité de nuit n'est presque jamais donnée dans les relevés météorologiques : elle est d'ailleurs difficile à estimer correctement mais présente une importance fondamentale pour l'astronome. Il serait intéressant de développer dans ce but les méthodes de photographie du mouvement diurne des étoiles au moyen d'appareils fixes et à grand champ (si possible 180°).

Lors des estimations de la nébulosité, il serait souhaitable de noter les mouvements des formations nuageuses. Des enregistrements radiométriques peuvent d'ailleurs également fournir une évaluation globale de la couverture nuageuse, le jour par la mesure du rayonnement solaire incident, la nuit par celle du rayonnement terrestre.

2.3. Les mesures d'absorption devront être traitées d'une manière distincte selon qu'il s'agit de la journée ou de la nuit.

2.3.1. Dans la journée, seul le Soleil peut être utilisé comme source de comparaison. On n'aura donc pas à tout moment des mesures en toutes

(1) Le mot français *altération* indique de façon certaine une modification dans le sens de la *détérioration*, contrairement au mot anglais *alteration* qui n'indique qu'un changement quelconque. C'est la raison pour laquelle il ne doit pas être simplement transposé.

Note de l'éditeur. — La suggestion faite lors de la dernière séance du Symposium (p. 297) revient à limiter l'usage de *seeing* à l'équivalent de *blurring*.

directions; néanmoins, les résultats statistiques seront utilisables, car ils ne seront pratiquement exploités qu'en vue d'observations solaires, précisément. Les actinomètres des modèles usuels sont parfaitement adaptés à ce genre de mesures. Il va de soi que ces mesures devront être faites dans divers domaines de longueur d'onde. Les mesures effectuées au cours d'une journée se traduiront par un essai de détermination d'une droite de Bouguer d'où l'on tirera un facteur de transmission moyen ramené au zénith, et des variations éventuelles au cours de la journée. On en déduira, le cas échéant, des conclusions concernant les effets systématiques. La connaissance des facteurs d'absorption dans différentes longueurs d'onde permettra de calculer un facteur de trouble qui donnera des indications importantes sur la nature des éléments absorbants.

2.3.2. Les méthodes de photométrie photoélectrique stellaire sont suffisamment éprouvées pour s'imposer dans les mesures de transparence nocturne. Les étoiles qui seront utilisées comme sources de référence devront naturellement avoir des magnitudes connues dans un certain système. Il paraît logique d'adopter le système U. B. V., et par conséquent de faire les mesures à travers les filtres bien connus qui définissent ce système. En constituant des chaînes d'étoiles qui se succèdent en distance zénithale par suite des mouvements diurne et annuel, il est facile d'obtenir un système homogène de magnitudes à partir duquel toutes les mesures se feront sans intervention d'aucune source de comparaison. On pourra dès lors recueillir en peu de temps les éléments d'une droite de Bouguer, réduisant ainsi l'influence des variations possibles dans le temps. Un choix convenable des étoiles doit permettre en outre la détermination de telles droites dans différents azimuts et la mise en évidence d'effets systématiques en azimut et en hauteur.

Les résultats de ces observations doivent être exprimés finalement, pour les différents domaines spectraux considérés, par l'absorption zénithale moyenne, en magnitudes, avec son erreur quadratique moyenne, accompagnée d'indications sur les écarts systématiques, s'il y a lieu.

2.4. On a vu que les propriétés diffusantes du ciel intervenaient sous deux formes distinctes.

2.4.1. La mesure de la diffusion au voisinage de la source n'a lieu d'être faite que dans le cas du Soleil, en vue de l'observation de la couronne. Elle est réalisée couramment dans les observatoires spécialisés au moyen de photomètres dont l'usage au cours d'une campagne de prospection peut-être envisagé sans difficulté sérieuse à condition de disposer d'une monture équatoriale élémentaire permettant d'assigner une valeur bien définie à la distance du bord solaire à laquelle se fait la mesure.

2.4.2. Les mesures de la brillance du ciel nocturne pourront être faites conjointement avec les mesures photométriques d'étoiles mentionnées à propos de l'étude de l'absorption. On admettra que la proximité de lumières terrestres importantes ne soit pas prise en considération ici, pour des raisons évidentes. On examinera, au contraire, le cas de la Lune,

qui fait obstacle à certaines observations pendant une fraction plus ou moins grande de la lunaison, selon que l'atmosphère est plus ou moins diffuse. Vu la complexité de la géométrie du problème, il est suggéré de se limiter à la mesure de la brillance d'une plage voisine du zénith pour différentes distances zénithales de la Lune au cours d'une même nuit. Les mesures de différentes nuits peuvent être ramenées à une échelle commune en tenant compte de la variation de magnitude de la Lune au cours de la lunaison. Après cette réduction, les courbes donnant la variation de la brillance en fonction de la distance zénithale de la Lune seront différentes pour chaque soirée selon l'importance de la diffusion. Un critère comparatif serait la valeur, interpolée sur ces courbes, de la brillance pour une distance zénithale de 60° .

2.5. L'analyse des effets des inhomogénéités a donné lieu à un très grand nombre de méthodes, qu'on peut grouper sous plusieurs rubriques, et dont chacune fournit tout ou partie des caractères mentionnés au paragraphe précédent (altération, agitation, scintillation).

2.5.1. Certaines méthodes s'attachent à une description de l'image focale. Elles sont de trois types :

— cinématographie ou photographie à courte pose. On obtient par là la distribution des intensités dans le plan focal, c'est-à-dire l'altération; l'agitation et la scintillation ne pourraient s'obtenir que moyennant un repérage et un étalonnage photométrique peu praticables;

— observation visuelle de l'aspect de la figure de diffraction, et plus particulièrement de l'altération des anneaux; cette méthode, calibrée par comparaison avec des mesures interférentielles, permet de remonter quantitativement aux fluctuations relatives des normales aux différents points de la surface d'onde, c'est-à-dire à la quantité appelée *turbulence optique* (cf. § 1.3.3). Elle ne donne pas d'indication sur l'agitation ni sur la scintillation;

— exploration photoélectrique de l'image par balayage au moyen d'une fente ou d'un couteau; cette méthode fournit une dimension de l'image pouvant chiffrer globalement l'altération; convenablement appliquée elle permet également d'évaluer l'agitation; enfin, elle fournit simultanément la valeur de la scintillation. La projection sur un diaphragme triangulaire de la focale fournie par une lentille cylindrique donne aussi une mesure photoélectrique de l'agitation.

2.5.2. Un procédé peut être rapproché des précédents, c'est celui des traînées d'étoiles obtenues au moyen d'un objectif non diaphragmé. Il fournit immédiatement l'agitation, mais ne se prête guère à l'étude de l'altération et de la scintillation.

2.5.3. D'autres méthodes visent à déterminer la forme de la surface d'onde : l'observation des ombres volantes et le procédé de Foucault ne donnent qu'une vue qualitative des déformations de la surface d'onde. La méthode de Hartmann et ses variantes permettent une reconstitution quantitative de cette surface. Il en va de même des méthodes inter-

férentielles, susceptibles de plus de précision, mais de mise en œuvre beaucoup moins aisée. Toutes ces méthodes ne donnent de renseignements que sur l'altération des images.

Les méthodes basées sur les corrélations entre les fluctuations d'orientation des portions de surface d'onde tombant sur deux parties distantes de l'objectif (ou sur deux objectifs distants) fournissent un ordre de grandeur des éléments quasi plans de la surface d'onde.

2.5.4. La scintillation ne peut pratiquement être étudiée que par photométrie photoélectrique. Des corrélations entre les fluctuations simultanées sur deux éléments de surface fournissent également la dimension des éléments quasi plans de la surface d'onde.

2.6. Parmi ces méthodes, il est clair que certaines ne sont utilisables que dans des observatoires organisés. Celles qui sont les plus immédiatement utilisables en campagne consistent dans l'examen des figures de diffraction et dans la mesure photoélectrique de la scintillation globale. Ces méthodes sont quantitatives. On peut y ajouter l'observation qualitative des ombres volantes. Il est à remarquer qu'aucune de ces méthodes ne donne de renseignements sur l'agitation. Or, on a vu dans l'étude des effets d'inhomogénéité que l'agitation observée au moyen d'un objectif d'un certain diamètre traduit l'altération qu'on observerait avec un objectif de diamètre plus grand. Il serait donc important de développer des méthodes pratiques permettant soit l'étude d'une grande étendue de la surface d'onde au moyen d'un instrument maniable, soit la mesure de l'agitation considérée comme une indication sur l'altération qui serait observée dans le cas d'un objectif plus grand.

2.6.1. Dans la première voie, on peut imaginer un instrument à quatre miroirs de quelques centimètres renvoyant sur un même objectif deux faisceaux incidents largement séparés fournissant deux images dont on pourra évaluer les déplacements relatifs en utilisant comme étalon le diamètre des deux taches de diffraction (peu altérées pour les faisceaux minces considérés). L'écartement des miroirs peut être rendu variable afin de permettre une étude du spectre spatial des déformations de la surface d'onde.

2.6.2. Dans la seconde voie, il paraît assez facile d'ajouter, à des dispositifs déjà utilisés pour l'étude de la scintillation, un système de balayage de l'image qui fournirait à la fois, ainsi qu'il a été dit, l'altération, l'agitation et la scintillation. Plus simplement, deux fils d'espacement connu dans le plan focal permettent d'évaluer sommairement l'amplitude des déplacements de l'image.

L'écueil de ces méthodes, qui utilisent un repère lié à l'instrument, est qu'elles exigent une bonne stabilité de la monture. On peut être tenté d'améliorer cette stabilité par l'emploi, dans l'hémisphère Nord, d'un télescope quasi fixe pointant l'étoile Polaire; mais les observations risquent alors d'être affectées par des effets locaux systématiques qui s'élimineraient si l'on travaillait en différents points du ciel.

2.7. Sur ces bases, on peut concevoir un instrument équatorial unique combinant :

- un télescope de l'ordre de 20 à 25 cm de diamètre au moyen duquel, par l'observation des figures de diffraction, on connaîtra les caractères de l'altération pour des diamètres d'objectifs inférieurs ou égaux au sien;
- un bâti rigide, disposé sur l'avant du tube, portant un système de quatre miroirs, les deux centraux escamotables, et les deux latéraux, mobiles jusqu'à une distance mutuelle de l'ordre du mètre ou plus, permettant l'exploration d'une étendue plus grande de la surface d'onde;
- un photomultiplicateur précédé d'un système d'occultation progressive de l'image, donnant aussi bien la transparence que la scintillation, l'agitation et l'altération pour un télescope du diamètre de celui employé.

Un tel instrument fournirait certains des caractères de l'inhomogénéité par plusieurs voies différentes :

- l'altération pour un diamètre inférieur ou égal à celui de l'instrument ressort de l'aspect des anneaux et de l'exploration photoélectrique;
- celle pour un diamètre égal ou supérieur ressort des résultats donnés par le système de miroirs ainsi que de la mesure de l'agitation par l'exploration photoélectrique.

Il importe donc de raccorder les échelles des grandeurs obtenues par ces différentes voies. Ces raccordements peuvent se justifier théoriquement. En pratique, des observations simultanées doivent conduire rapidement à des rattachements empiriques satisfaisants.

2.7.1. Il ne suffit pas de normaliser les caractéristiques d'un tel instrument pour que les études faites en différents points deviennent comparables entre elles : il importe aussi de définir ses conditions locales d'implantation, et en particulier de faire en sorte que leur influence sur les mesures soit aussi réduite que possible.

Il y a intérêt, notamment :

- à ne pas placer l'instrument au ras du sol (ce qui incitera à employer des instruments courts), et, en tout état de cause, à définir une hauteur type;
- à éviter, autant que faire se peut, l'emploi d'abris laissant subsister des obstacles importants pendant l'observation.

2.7.2. Les techniques mentionnées ci-dessus pour l'étude de la qualité des images ne s'appliquent pas au cas du Soleil. Les conditions diurnes et nocturnes étant différentes, et les facteurs locaux ayant une grande influence dans la journée, il paraît préférable de ne pas lier étroitement la recherche d'un site donnant de bonnes images solaires à celui d'un observatoire à activité nocturne. Il ne paraît guère possible de reconnaître la qualité des images solaires autrement qu'en les observant effectivement, au moyen d'un instrument de diamètre suffisant. Cet instrument devrait être un réflecteur d'une trentaine de centimètres à miroirs de silice et à tube fermé, conçu de façon à éviter dans toute la mesure du possible

les effets locaux d'échauffement et de turbulence; l'observation visuelle du bord solaire est instructive, mais la cinématographie serait préférable.

On peut également mesurer photoélectriquement le contraste de la granulation, à condition d'avoir au préalable étudié la corrélation entre ces mesures et la qualité des images photographiées.

2.7.3. L'automatisation complète des observations et de leur réduction, si elle était atteinte, pourrait permettre de multiplier le nombre de stations. Les problèmes technologiques supposés résolus, le choix dépendra du volume global des moyens disponibles, et de l'importance relative des moyens en matériel et en personnel respectivement.

3. **Schéma de mise en œuvre au cours d'une prospection.** — On ne saurait trop insister sur l'intérêt qu'il y a à ce que le mode d'obtention des résultats et le mode de présentation des données soient normalisés. Une telle normalisation est, en effet, essentielle à la comparaison des résultats à l'intérieur d'une même prospection comme entre plusieurs prospections.

Dans ce qui précède, le Groupe de Travail s'est attaché à définir les phénomènes dont dépendent la qualité des images et le rendement astronomique en un site donné, et à traduire ces phénomènes par des grandeurs mesurables. Afin d'obtenir des échelles numériques cohérentes, il est essentiel que les instruments utilisés pour les prospections aient des caractéristiques identiques et qu'ils soient employés de la même manière par tous les observateurs. Il convient dès lors de se mettre d'accord sur les normes des instruments utilisés et sur les normes des méthodes d'observation et de réduction.

3.1. **PRÉSENTATION DES RÉSULTATS.** — Pour permettre la comparaison immédiate de deux stations à l'échelle du jour et à l'échelle de l'année, il est utile de présenter toutes les données recueillies suivant un même schéma faisant apparaître l'évolution dans le temps. Le Groupe de Travail propose que soient établis pour chacun des paramètres, dans toute la mesure du possible :

- un tableau mensuel d'observation;
- un diagramme mensuel montrant l'évolution diurne et comprenant l'indication des tendances.

3.1.1. *Tableau mensuel d'observation pour chaque paramètre.* — On suppose *a priori* que les échelles sont fixées uniformément et que l'intervalle utile de variation du paramètre considéré est connu. Pour établir le tableau correspondant, on divise le domaine de variation en un certain nombre de classes (exemple : 0-2, 2-4, 4-6, 6-8 pour la nébulosité) et l'on divise la journée en classes horaires (exemple : 0-1, 1-2, 2-3, etc. à partir de minuit local). Les valeurs du paramètre et de l'heure qui coïncideraient éventuellement avec la limite supérieure d'une classe seraient à localiser dans la classe immédiatement supérieure. On constitue alors un tableau à double entrée dans lequel, conformément aux classes adoptées tant

pour le paramètre que pour les heures de la journée, sont consignés tous les cas d'observation qui se sont présentés au cours du mois considéré. On déduit de ce tableau le nombre de jours dans le mois pour lesquels, dans un intervalle horaire donné, le paramètre a pris une valeur comprise dans telle ou telle classe.

La tendance entre deux observations de la journée peut être représentée de la même manière. Le Groupe de Travail propose de définir la tendance comme suit :

Paramètre.....	Croissant	Stable	Décroissant
Tendance.....	Positive	Nulle	Négative
Signe.....	+	o	—

Pour chaque intervalle horaire, on peut donc relever le nombre de jours du mois où la tendance a été positive, nulle ou négative.

3. 1. 2. *Diagramme mensuel d'observation pour chaque paramètre.* — Cette représentation graphique doit être suffisamment parlante pour permettre une comparaison instantanée de deux stations et pour faire apparaître à première vue l'évolution dans le temps. Elle doit aussi pouvoir être déduite immédiatement des tableaux d'observation.

A cet effet, on constitue un diagramme rectangulaire dans lequel on porte en abscisse l'heure et en ordonnées, *cumulativement*, les nombres de jours du mois correspondant aux classes successives du paramètre (traduction graphique du tableau d'observation). En joignant alors les points correspondants aux diverses heures pour une même classe, on obtient une courbe faisant apparaître la variation horaire de la fréquence cumulative pour cette classe. Le diagramme est finalement divisé par un certain nombre de courbes correspondant aux classes successives et fournit une représentation parlante des tableaux d'observations (*voir* p. 321).

Sans l'indication des tendances, ce diagramme présente l'inconvénient d'avoir la même allure pour une station dans laquelle la nébulosité, par exemple, est alternativement totale et nulle d'un jour à l'autre, et pour une station où l'on assiste à des périodes alternatives de 15 jours de ciel couvert ou de ciel clair (ces deux stations diffèrent essentiellement au point de vue astronomique et leur rendement dépend des programmes proposés). Cette ambiguïté est levée par l'indication des tendances; il suffit de construire un graphique du même type (pouvant d'ailleurs être superposé au précédent) dans lequel on portera, cumulativement, en ordonnées, pour chaque intervalle horaire, les nombres de jours où la tendance a été positive, nulle ou négative.

En conclusion, l'ensemble des diagrammes obtenus pour chaque paramètre et pour chaque mois de l'année constituera le document météorologique et astronomique représentatif de la station. Ce document doit être accompagné de remarques sur les particularités propres à celles-ci (effet systématiques d'azimut, de hauteur, etc.)

3. 1. 3. Exemple de tableaux et diagrammes mensuels (fig. 76) :

Nébulosité (en octats). Pic du Midi, années 1901 à 1940.

(Entre parenthèses, chiffres cumulés.)

Mois de juin.

Nébulosité.	Heures.									
	0.	3.	6.	9.	12.	15.	18.	21.	24.	
0 à 2.....	5,9	6,1	2,9	3,8	2,4	1,2	1,3	4,4	5,9	
2 à 4.....	9,0	8,5	9,7	7,5	5,7	5,1	6,0	7,5	9,0	
	(14,9	14,6	12,6	11,3	8,1	6,3	7,3	11,9	14,9)	
4 à 6.....	4,7	6,0	7,3	7,5	8,2	6,4	7,0	5,2	4,7	
	(19,6	20,6	19,9	18,8	16,3	12,7	14,3	17,1	19,6)	
6 à 8.....	10,4	9,4	10,1	11,2	13,7	17,3	15,7	12,9	10,4	
	(30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0)	
Tendance.										
+		6	4	3	2	2	2	22	10	
0		22	24	17	4	4	20	6	18	
-		2	2	10	24	24	8	2	2	

Mois de décembre.

Nébulosité.	Heures.									
	0.	3.	6.	9.	12.	15.	18.	21.	24.	
0 à 2.....	6,6	5,7	3,7	5,2	4,6	4,5	5,5	8,3	6,6	
2 à 4.....	7,8	7,6	7,8	6,0	6,6	5,8	8,1	5,7	7,8	
	(14,4	13,3	11,5	11,2	11,2	10,3	13,6	14,0	14,4)	
4 à 6.....	2,8	4,8	5,8	5,3	5,7	6,5	2,6	3,1	2,8	
	(17,2	18,1	17,3	16,5	16,9	16,8	16,2	17,1	17,2)	
6 à 8.....	13,8	12,9	13,7	14,5	14,1	14,2	14,8	13,9	13,8	
	(31,0	31,0	31,0	31,0	31,0	31,0	31,0	31,0	31,0)	
Tendance.										
+		10	11	9	6	5	6	11	14	
0		11	10	10	11	9	10	9	11	
-		10	10	12	14	17	15	11	6	

Nota. — Les valeurs de la nébulosité sont celles effectivement observées; les tendances n'ont pas été réellement relevées, et les chiffres portés ci-dessus ont été imaginés à titre d'exemple.

3. 2. ORGANISATION DES PROSPECTIONS. — Toute prospection ayant pour objet la détermination du site d'un futur observatoire astronomique devrait normalement comprendre trois étapes :

— une étape d'étude préliminaire, précédant l'organisation de la prospection;

- une étape d'enquête sur le terrain;
- une étape de prospection astronomique proprement dite.

3.2.1. L'étape d'étude préliminaire est naturellement indispensable pour établir les conditions minimales imposées par la nature des programmes qu'on se propose d'accomplir dans l'observatoire définitif; elle doit tenir compte de la situation actuelle de l'astronomie et de l'évolution prévisible de la science.

Les conditions minimales doivent ensuite normalement permettre d'effectuer une première sélection des régions à prospector. Parmi ces conditions, on peut noter :

- le type d'observatoire (station d'observation en vue d'un programme bien délimité, ou bien centre destiné à s'occuper de plusieurs programmes ayant des caractères communs);

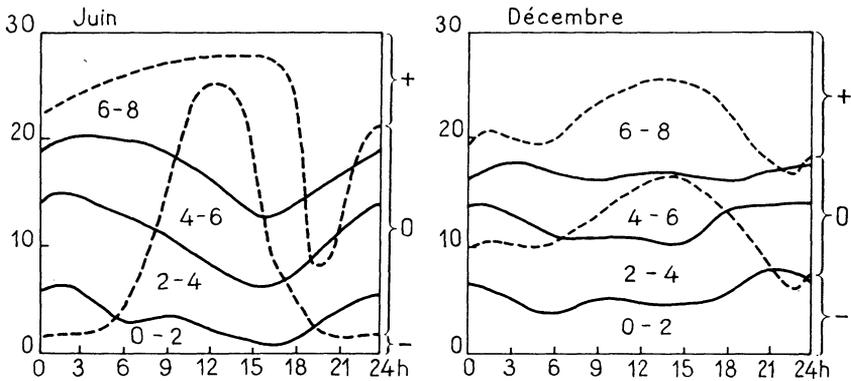


Fig. 76. — Répartition diurne de la luminosité (en octats) au Pic du Midi, années 1901 à 1910.

- la nature des observations, leurs étendues, leurs fréquences dans l'année, les moments de la journée ou de la nuit où elles doivent être faites;

- les limites géographiques (longitude, latitude et altitude);

- les considérations pratiques (exemple : industrialisation, occupation de la région, conditions de vie, etc.) dont l'examen ne relève pas du Groupe de Travail.

Ces conditions sont normalement fixées par le Groupe Organisateur. Il est important, pour le succès de l'entreprise, qu'elles ne soient pas modifiées durant la prospection elle-même.

3.2.2. L'étape d'enquête sur le terrain, préparant la prospection astronomique proprement dite, doit permettre de rassembler la documentation d'ordre général et d'assurer au mieux les connaissances météorologiques essentielles, dont certaines données figurent déjà dans les relevés des centres existants. Cette documentation ne peut généralement être établie

qu'en parcourant la région; il est important qu'elle contienne des informations détaillées sur :

- l'aspect général de la région et son relief à petite échelle;
- la nature de la végétation;
- la nature et l'aspect du sol;
- toutes autres particularités pouvant intéresser l'objet de la prospection.

Les moyens de transport devront être prévus pour assurer une efficacité maximale de l'équipe sur le terrain.

Il convient d'observer que, surtout dans les pays neufs, les stations climatologiques existantes sont généralement trop espacées pour que leurs informations soient directement utilisables pour une prospection astronomique. D'autre part, les informations courantes ne répondent pas intégralement aux buts astronomiques. Il est donc important que la mission d'enquête sur le terrain complète ces informations en établissant un réseau de stations d'échantillonnage plus serré et répondant mieux au but poursuivi. Une instrumentation météorologique adéquate et normalisée devrait donc être mise à la disposition de l'échelon avancé pour lui permettre de remplir son rôle; il convient d'insister sur l'importance d'une normalisation des observations elles-mêmes qui n'auront de valeur que si elles sont effectuées suivant les critères habituels. (Pour l'étude continue : anémographes, thermohygrographes, barographes, pluviographes; pour l'étude discontinue : psychromètres, thermomètres météorologiques à placer dans l'air et dans le sol.) En particulier, l'usage d'abris météorologiques normalisés paraît tout à fait essentiel.

Il a été recommandé plus haut que la nébulosité soit observée de préférence photographiquement. Dans le cas où cette solution ne serait pas praticable, l'échelon avancé devrait rechercher des observateurs pour la nébulosité dans la population locale et prendre soin d'en contrôler les estimations au hasard des circonstances.

En définitive, l'étape d'enquête doit permettre de mieux délimiter les zones à prospector au cours de l'étape qui va suivre.

3.2.3. L'étape de prospection astronomique proprement dite doit permettre de réunir, pour les stations finalement retenues, l'ensemble des données sur les paramètres climatologiques, et l'ensemble des données sur la qualité des images. Les données sur la qualité des images pourront être obtenues par les procédés indiqués plus haut (*voir* § 2.5); on a insisté sur la nécessité d'utiliser un instrument type, bien normalisé et employé toujours de la même manière, pour la mesure des paramètres astronomiques. D'autre part, il paraît essentiel qu'une première réduction des observations soit faite sur place, au cours de la prospection, afin de pouvoir apporter à l'orientation générale du travail les retouches qui s'imposent, et afin d'obtenir les résultats principaux avec un délai minimal. Il est donc souhaitable que la mission de prospection astronomique dispose d'un personnel suffisant.

Lors de l'étape générale, les stations sont de préférence distribuées sur le terrain avec une densité modérée en réseau autour d'une station

pilote. On y procède à des observations étendues dans le temps, avec une densité modérée (3 ou 4 dans la nuit à quelques heures d'intervalle). Ces stations sont occupées de préférence suivant un ordre fixé se reproduisant suivant trois ou quatre cycles par an. Il ne paraît pas utile de rechercher une simultanéité complète entre les observations faites dans une station du réseau et à la station pilote si leur distance dépasse 100 km par exemple.

Dans sa phase finale, la prospection conduit nécessairement à un resserrement du réseau dans les régions présentant les plus grandes chances d'offrir des sites convenables. La simultanéité des observations devient alors souhaitable afin d'affiner l'étude du microclimat dès que la distance des stations du réseau devient inférieure à 10 km par exemple.

4. Recommandations. — Il est recommandé :

4.1. *Que* le Groupe de Travail soit maintenu en activité au-delà de l'Assemblée générale de Berkeley.

(Parmi les tâches qui restent à accomplir, figurent les suivantes :

— définir des échelles pour les diverses grandeurs caractéristiques;
— développer les instrumentations les plus appropriées aux travaux en campagne et définir les normes de construction des appareils;

— raccorder entre elles les échelles de mesure d'une même grandeur relative aux différentes méthodes d'évaluation et définir des normes de qualité;

— ultérieurement, réunir les résultats de prospections en diverses régions et d'études systématiques faites dans les observatoires existants de façon à constituer une documentation synoptique valable tant pour elle-même que pour les règles générales qu'elle pourrait faire apparaître.)

4.2. *Que*, pour provoquer une confrontation plus complète des points de vue sur les problèmes techniques, soit organisé le Symposium prévu dans la résolution adoptée lors de la réunion de l'Assemblée générale de l'U. A. I. à Moscou en 1958 (*Transactions de l'U. A. I.*, 1958, p. 71), sous la condition que ce Symposium soit conçu sous forme de discussion des problèmes pendants et non de présentation de communications individuelles.

4.3. *Que* les chercheurs qui étudient les corrélations entre les caractéristiques de l'atmosphère et la qualité des images utilisent, conjointement aux appareillages élaborés dont ils disposent, les instruments préconisés pour la prospection en campagne de façon à mieux asseoir les conclusions tirées de l'emploi de ces derniers.

4.4. *Que* les observatoires en fonctionnement consacrent une part de leur attention, au moins à l'occasion de leur travail courant, mais aussi, chaque fois que cela leur est possible, selon un programme expressément établi, aux corrélations entre les conditions météorologiques et la qualité des images.

Avril 1961.

Jean RÖSCH,

Président du Groupe de Travail.

