

| | |
|---------------------|---|
| Zeitschrift: | Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft |
| Herausgeber: | Schweizerische Astronomische Gesellschaft |
| Band: | 8 (1963) |
| Heft: | 79 |
| Artikel: | Sur une nouvelle méthode d'observation photographique des météores d'origine cosmique |
| Autor: | Rigollet, R. |
| DOI: | https://doi.org/10.5169/seals-900184 |

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 24.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

SUR UNE NOUVELLE METHODE D'OBSERVATION PHOTOGRAPHIQUE DES METEORES D'ORIGINE COSMIQUE

Par R. RIGOLLET, Forcalquier (B.A.)

L'observation photographique des météores cosmiques n'est pas une nouveauté : elle a donné lieu aux premières expériences d'enregistrement systématique des trajectoires avant la fin du dernier siècle, et elle s'exerce traditionnellement dans quelques contrées où peuvent se reconnaître en tête les USA et la Tchécoslovaquie. Notre tâche consistera donc essentiellement à montrer sur quels points notre méthode s'écarte des voies classiques et à établir les avantages de ces innovations.

Commençons par rappeler comment on procède ordinairement pour photographier des trajectoires de météores avec l'intention de déterminer leurs éléments. La coutume est de se servir d'instruments liés à un axe parallèle à la ligne des pôles ; un mouvement d'horlogerie les entraîne de façon que leur axe optique accompagne la rotation équatoriale apparente du ciel : ce mode opératoire ne se distingue en rien de celui communément appliqué à la photographie céleste ; si bien que lorsque le champ d'un tel instrument vient à être traversé par un météore suffisamment brillant pour impressionner l'émulsion photographique disposée dans le plan focal, on découvre, après développement du cliché, sa trajectoire inscrite dans le champ stellaire, comme la représente schématiquement la figure 1.

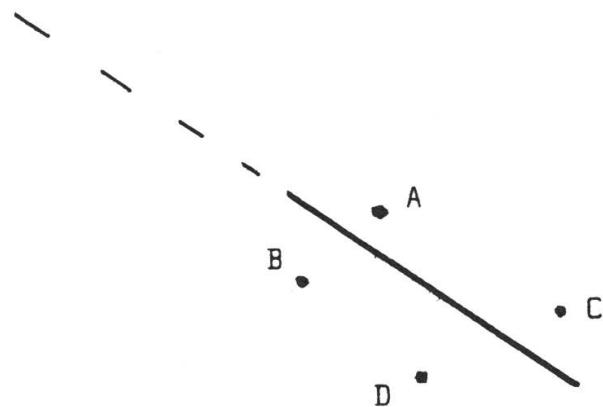


Figure 1 – Aspect commun d'une trajectoire météorique enregistrée dans le champ stellaire d'un astrographe entraîné sur la rotation équatoriale du ciel.

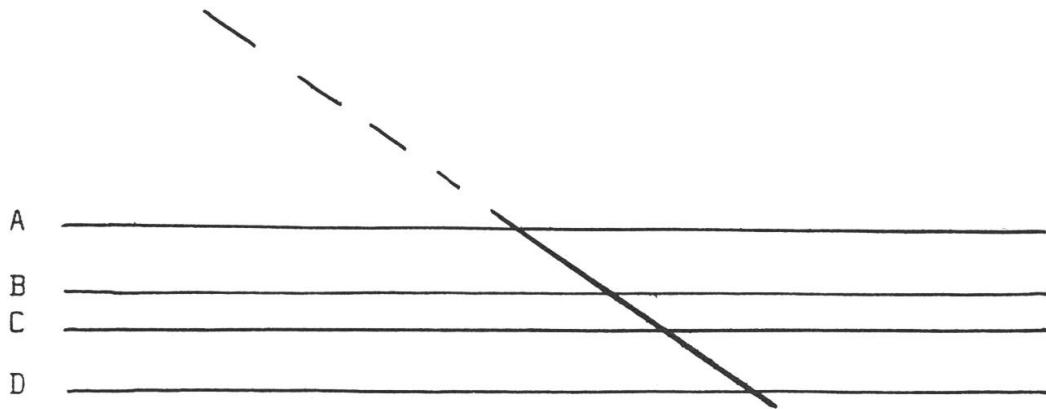


Figure 2 – Trajectoire de la figure 1, enregistrée au moyen d'un astrographe fixe. A, B, C, D, traits de transport d'images des étoiles de la figure 1.

Mais chacun sait qu'une trajectoire météorique est aussi facilement saisie par le cliché d'une chambre photographique maintenue dans une orientation invariable, en raison du temps très bref, de l'ordre de la seconde, dans lequel s'effectue son parcours. La figure 2 donne l'exemple d'un cliché obtenu dans ces conditions. On a choisi à dessein une représentation du même champ d'étoiles que sur la figure 1. Rien n'est sensiblement changé pour la trajectoire (ou très peu de chose, dont on tient compte dans l'exposé complet de ce travail); quant aux étoiles, du fait de la fixité de l'instrument, elles apparaissent sous l'aspect des *traits de transport d'images* produits par leur rotation apparente autour de la Terre.

La comparaison des deux figures établit un premier point : le guidage équatorial de l'instrument, en astronomie météorique, n'a d'autre fin que de fixer la situation réciproque de la trajectoire et des étoiles qui entourent celle-ci dans la perspective du lieu d'observation. Les étoiles, dans leurs images punctiformes, sont des repères naturels sur le cliché entraîné; ces repères font défaut sur le cliché fixé. C'est pourquoi, malgré les complications bien connues des astronomes que constituent l'entraînement et un guidage correct des instruments d'observation, la première solution fait l'objet d'une pratique constante. Voici pourtant l'usage que nous avons fait de la seconde :

Soit (figure 3) une chambre photographique C munie d'un dispositif occulteur de champ 0; cet occulteur est rabattu périodiquement devant l'objectif par l'effet d'une commande électro-mécanique asservie à la rotation d'un moteur synchrone S. Etant fixe et ainsi équipée, C produit des clichés sur lesquels (figure 4) les tracés d'images de toute

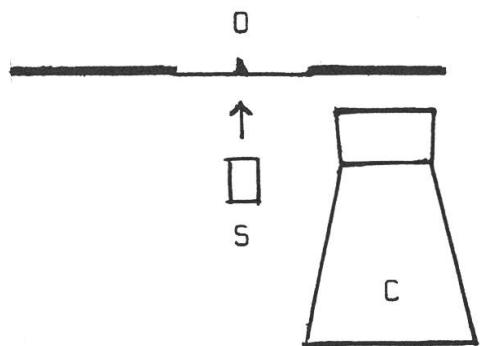


Figure 3 – (voir texte.)

étoile telle que A apparaissent marqués par des séries régulières de coupures a_1, a_2, \dots, a_n . Ces séries de coupures se répètent sur tous les tracés d'images des étoiles photographiées pendant leur traversée du champ, et elles sont nombreuses lorsque les expositions durent plusieurs heures (ces longues poses sont indispensables pour un rendement convenable en astronomie météorique). C'est ainsi que se trouve constitué un réseau très riche de repères sur nos clichés. Avant d'expliquer comment ces repères sont utilisés pour les mesures, un court paragraphe suffira pour en résumer la théorie très simple.



Figure 4 – Trait de transport d'image d'une étoile marqué par les occultations.

Soit $t(a_0)$ l'instant médian de l'occultation (d'une durée de quelques secondes) qui précède immédiatement le début de l'exposition. Toute coupure de rang n proviendra de l'occultation survenue à un instant $t(a_n) = t(a_0) + n \cdot k$. k est la *période de retour des occultations* : Nous avons rapidement adopté $k = 240$ secondes pour les clichés destinés à recueillir les trajectoires de météores ; (60 ou seulement 30 secondes pour les clichés de satellites artificiels). Les temps des occultations forment donc une série arithmétique, de raison k , de sorte qu'il suffit d'avoir relevé l'heure de la première pour connaître l'heure de toutes les autres.

Les coordonnées des coupures s'expriment dans le *système équatorial local*. La *déclinaison* d'une coupure est, quel que soit son rang, la déclinaison de l'étoile dont elle marque le tracé : $\delta(a) = \delta(A)$; l'*angle horaire* d'une coupure de rang n est le temps sidéral local qui correspond à $t(a_n)$, diminué de l'ascension droite de l'étoile :

$$H(a_n) = T(a_n) - \alpha(A).$$

Les mesures sont exécutées de la façon suivante. On dispose le cliché sur la machine à mesurer, de façon que la *trajectoire M* soit en coïncidence avec la ligne de mire des abscisses (figure 5).

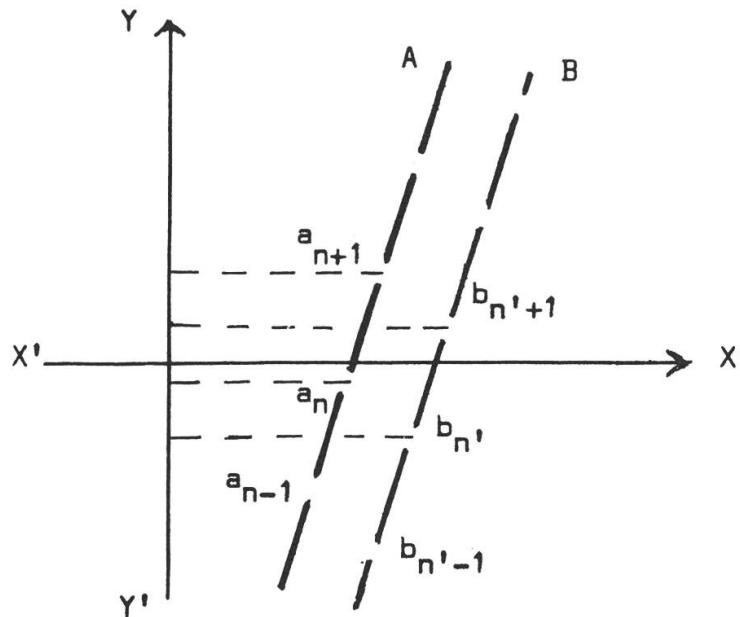


Figure 5 – Mesures des ordonnées des coupures, la trajectoire météorique étant disposée en coïncidence avec $X'X$.

Les tracés d'images d'étoiles tels que (A), (B), se présentent sous une inclinaison dont on n'a pas à tenir compte. *On mesure* les ordonnées Y des coupures $a_n, a_{n+1}; b_{n'}, b_{n'+1}$; c'est-à-dire, de toutes les coupures immédiatement adjacentes de part et d'autre de la trajectoire sur les tracés d'étoiles disponibles; et l'on y adjoint (dans une seule opération), les mesures d'ordonnées de quelques coupures supplémentaires sur les mêmes tracés d'étoiles (soit $a_{n-2}, a_{n-1}, a_{n+2}$, et a_{n+3} sur le tracé de A, et ainsi de suite*).

On obtient ainsi un tableau tel que celui ci-dessous concernant le tracé de l'étoile A.

| | | |
|--------------|--------------|------------|
| | $Y(a_{n-2})$ | Δ' |
| | $Y(a_{n-1})$ | Δ'' |
| $t(a_n)$ | $Y(a_n)$ | |
| $t(a_n) + k$ | $Y(a_{n+1})$ | |
| | $Y(a_{n+2})$ | |
| | $Y(a_{n+3})$ | |

* Le numéro d'ordre n désigne la coupure qui précède immédiatement le point de rencontre du tracé de l'étoile avec la trajectoire dans le sens du mouvement diurne.

L'extraction des différences dans la série des ordonnées Y permet :

- De s'assurer de la correcte exécution des mesures ;
- De compenser les erreurs accidentelles des mesures par des redressements à vue, lesquels donnent à leur tour l'indication de l'erreur moyenne de chaque détermination.

*L'interpolation des valeurs redressées de Y donne la fraction f de k pour laquelle $Y = 0$ **.

À $Y = 0$ correspond le temps $t(a_n) + f \cdot k = t(a_m)$. Sur le tracé de l'étoile A, a_m désigne le point de croisement avec la trajectoire, ou POINT SÉCANT, et $t(a_m)$ est le temps civil auquel *l'image de l'étoile* est passée au point sécant. Il lui correspond le temps sidéral local $T(a)$; puisque l'on connaît d'autre part l'ascension droite α de A donnée par les tables, on trouve *l'angle horaire* du point sécant :

$$H(a_m) = T(a_m) - \alpha(A)$$

Cet angle horaire est à la fois celui de l'étoile et celui du météore aux moments du passage de leurs images au point sécant. Quant à la déclinaison du point sécant, elle n'est sujette à aucune mesure, puisqu'elle est identique par définition à la déclinaison de l'étoile A, donnée aussi par les tables. On verra plus loin en comparant les méthodes l'énorme avantage de cette situation.

Les opérations décrites jusqu'ici ont pour conséquence l'établissement d'un « tableau des points sécants ». Ces points sécants, en nombre variable, souvent supérieur à une dizaine, selon la fréquence des tracés d'images d'étoiles, définissent celle-ci, en coordonnées apparentes d'angles horaires et de déclinaisons. On peut, par l'application des formules classiques, changer ces coordonnées équatoriales pour les coordonnées horizontales locales d'azimut et de distance zénithale, dont on a d'ailleurs besoin au moment d'établir la situation géographique de la trajectoire. Mais ce qui manque encore, pour une récapitulation complète des points sécants, ce sont leurs ascensions droites, qui définiront la situation de la trajectoire sur la sphère céleste. Pour cela, il faut connaître l'heure $t(M)$ (temps civil), soit aussi bien $T(M)$ (temps sidéral), à laquelle est passé le météore. Tout point sécant sur la trajectoire a pour ascension droite :

$$\alpha(a_M) = T(M) - H(a_m).$$

* Bien que les occultations soient équidistantes dans le temps, l'espacement linéaire entre les coupures ne l'est pas en raison de ce que l'on appelle l'effet de la courbure du champ; cependant l'équation entre Y et les numéros d'ordre des coupures diffère très peu de la linéarité, de sorte qu'il suffit d'une correction minime donnée par les tables d'interpolation.

(L'indice M signale qu'il s'agit d'un élément concernant le météore lui-même, et l'on se souvient que $H [a_m] = H [a_M]$.)

La façon dont nous nous y prenons pour établir t (M) est, nous tenons à y insister, sans l'ombre de point commun avec ce qui se fait dans les pays étrangers, et rigoureusement inédite dans son principe comme dans l'outillage qui la réalise. En voici la description :

La chambre photographique fixe avec laquelle sont pris les clichés dont l'emploi est exposé ci-dessus n'est pas isolée. Elle est accouplée avec une deuxième chambre (chambre C_2 , figure 6), possédant les mêmes caractéristiques focales et dont l'axe optique est parallèle au sien. Pas davantage que la C_1 , cette C_2 n'est entraînée sur le mouvement diurne du ciel, mais elle est mise *en rotation continue autour de son axe optique*, avec la vitesse angulaire convenable pour effectuer un tour entier pendant la durée normale d'une exposition (en principe 6 heures). Les étoiles ajoutant leur mouvement diurne à la rotation du champ focal produisent des tracés d'un aspect nouveau (figure 7) : tandis que le tracé rapide d'une trajectoire de météore reste pratiquement identique à lui-même, les étoiles du champ tracent des figures apparentées à la *Spirale d'Archimède* (laquelle est définie par l'équation en coordonnées polaires $r = q \theta$).

Figure 6 — (voir texte). S_2 est un moteur synchrone démultiplié entraînant la rotation axiale de C_2 , D un disque crénélisé (classique pour les mesures de vitesses angulaires), actionné par le moteur synchrone S_3 .

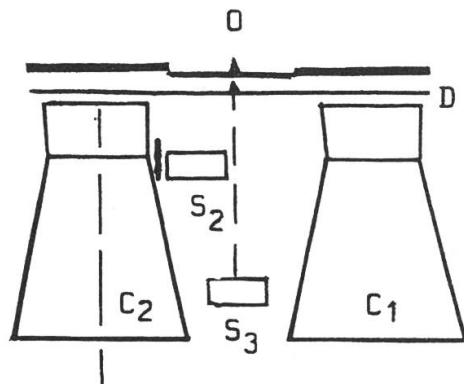
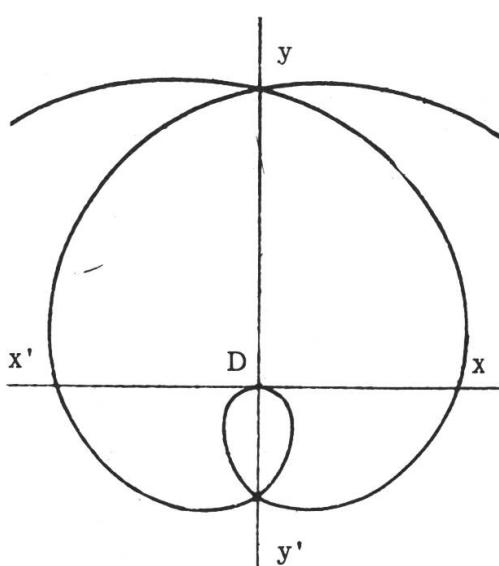


Figure 7 — Spirale d'Archimède, caractéristique des figures produites par les images des étoiles sur les clichés de la chambre tournante.

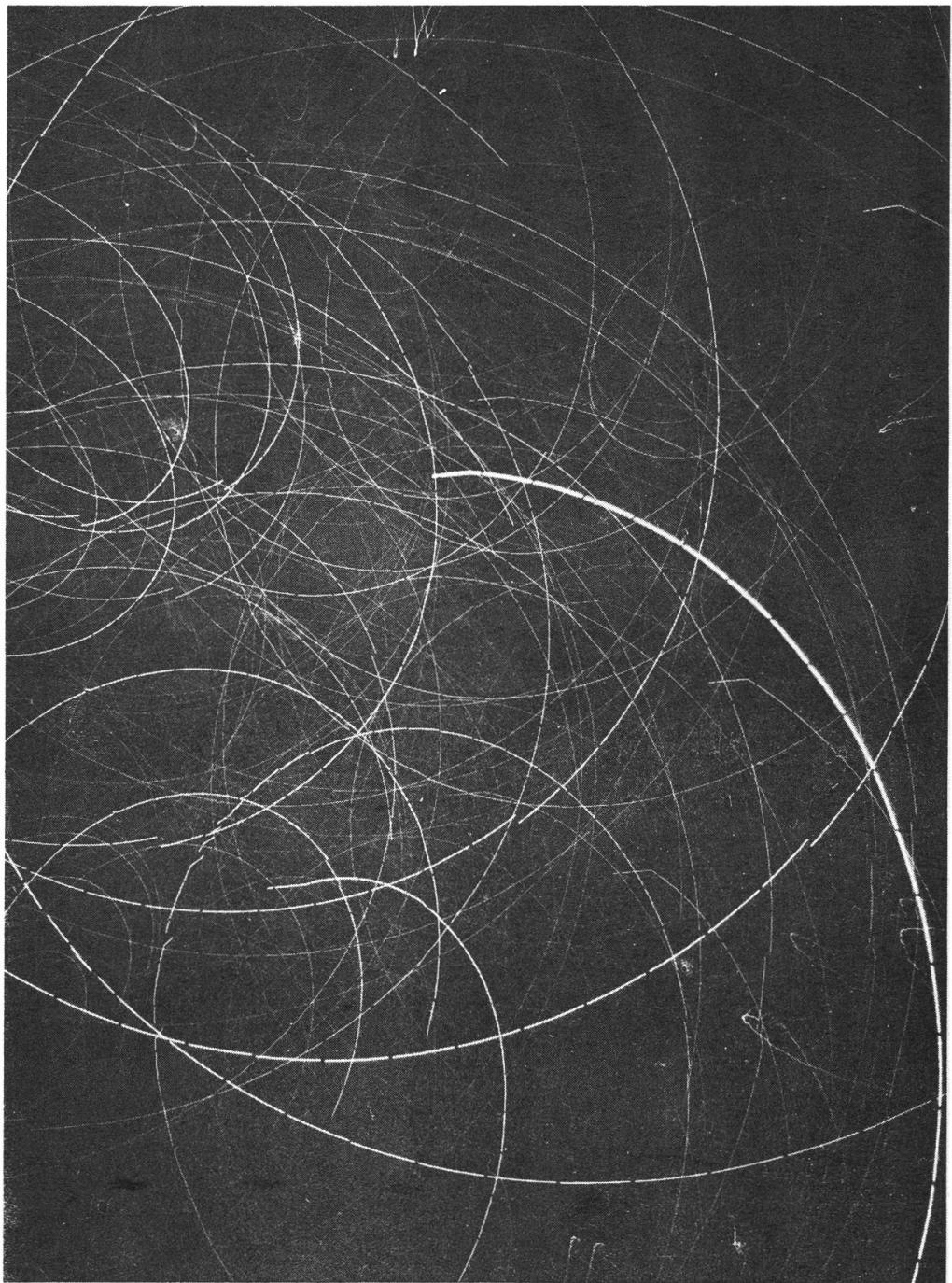


Figure 8 — Spécimen de cliché obtenu à la chambre tournante.

Ainsi, après chaque exposition, se trouve-t-on en possession de deux clichés qui proviennent respectivement de la chambre fixe et de la chambre tournante. Lorsqu'ils portent une trajectoire, il y a plusieurs façons de les réduire l'un à l'autre pour connaître l'instant t (M) auquel s'est inscrite la trajectoire ; le procédé de « reconstitution du champ » est le plus précis et l'on en montre le principe (figure 9).

Figure 9 – Application du procédé de mesures de la figure 5 (chambre fixe) au cliché de la chambre tournante. Il en résulte la détermination de l'emplacement a_M de l'étoile A à l'instant de la formation de la trajectoire météorique M (celle-ci étant disposée en coïncidence avec O X).

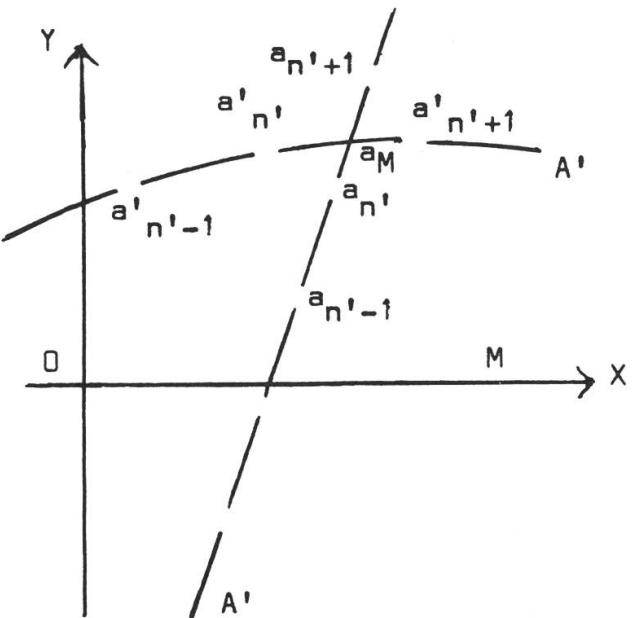
Imaginons que l'on superpose mutuellement le cliché de la chambre fixe et le cliché de la

chambre tournante de façon à faire coïncider les images de la trajectoire M qu'ils portent. Soit A une étoile peu éloignée angulairement de M à l'instant $t(M)$. Le tracé A de la chambre fixe et le tracé A' de la chambre tournante se croisent en un point a_M ; l'échelle des deux clichés étant la même puisque les chambres sont munies d'objectifs semblables, il est bien évident que le point a_M fixe la position de l'image de A à l'instant $t(M)$ où s'est formée la trajectoire; ce raisonnement étant valable pour toute autre étoile, on reconstitue donc bien par ce moyen le fond stellaire sur lequel s'est projetée la trajectoire, tel que le représenterait un cliché obtenu avec un instrument entraîné. Le mode opératoire consiste, non à superposer les deux clichés comme on a supposé le faire afin d'expliquer ce procédé, mais à reprendre les mesures d'ordonnées des coupures sur le cliché de la chambre tournante, exactement comme on l'a fait sur le cliché de la chambre fixe (c'est-à-dire en confondant la trajectoire avec l'axe O X, et en se limitant aux tracés d'une ou deux étoiles répondant aux conditions de proximité). Cela fait, on dispose de deux séries de valeurs de Y :

$$\dots Y(a_{n'}), Y(a_{n'+1}) \dots \text{ (chambre fixe)}$$

$$\dots Y(a'_{n'}), Y(a'_{n'+1}) \dots \text{ (chambre tournante)},$$

où n' désigne le *rang* de la coupure qui précède immédiatement le point d'intersection. Puisque l'on connaît les temps, soit en particulier $t(n')$ et $t(n'+1)$ de formation des coupures, une interpolation donne le temps $t(a_M)$ pour lequel $Y(a) = Y'(a)$. Ce temps $t(a_M)$ n'est autre que le temps auquel le météore a inscrit sa trajectoire, soit $t(M)$.



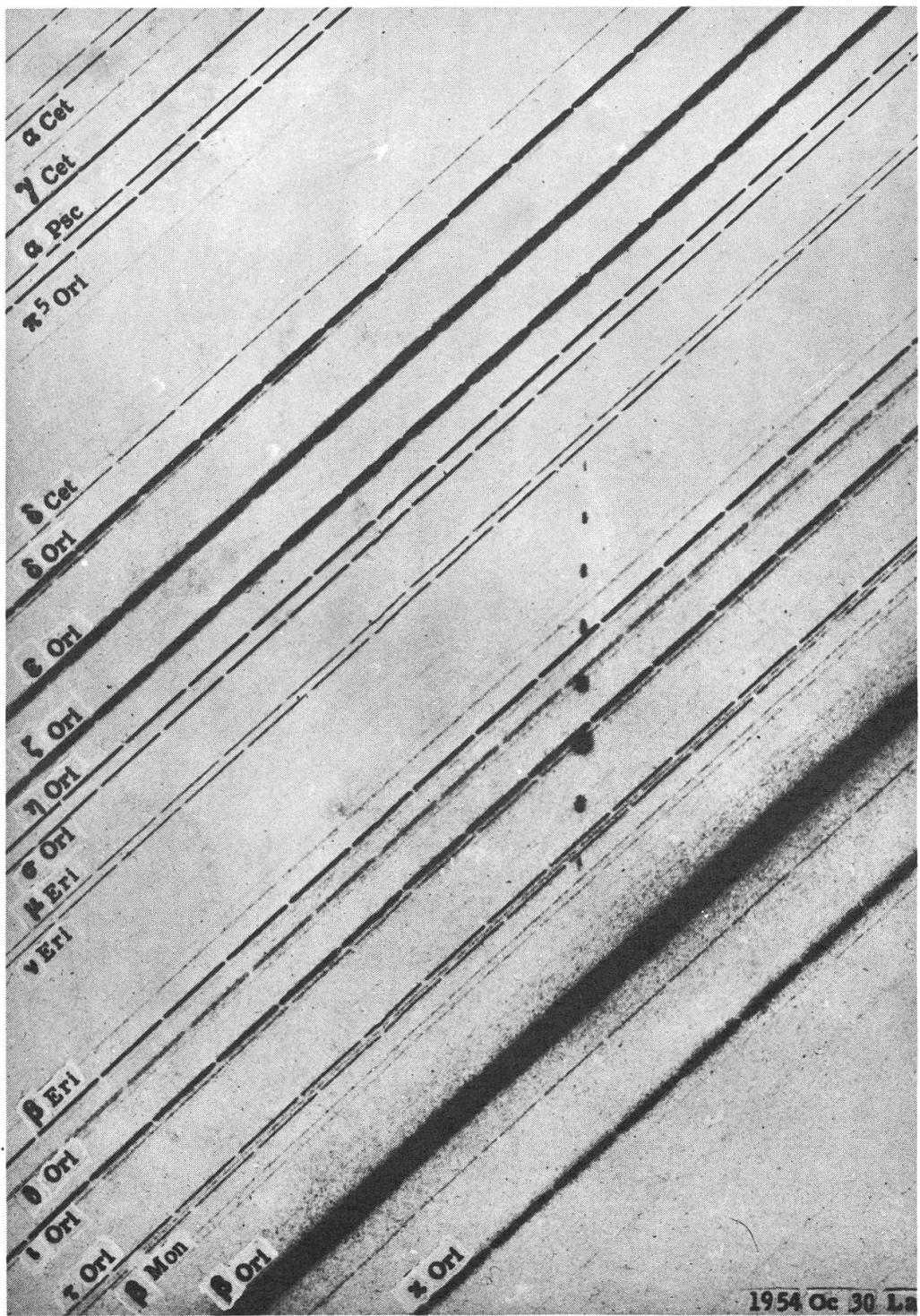


Figure 9 – Trajectoire d'une Tauride. 30 octobre 1954. Chambre fixe.

Les ascensions droites des points sécants sur la trajectoire se trouvant tout aussitôt établies par la relation $\alpha(a_M) = T(M) - H(a_M)$, on dispose des données nécessaires pour l'établissement des éléments du

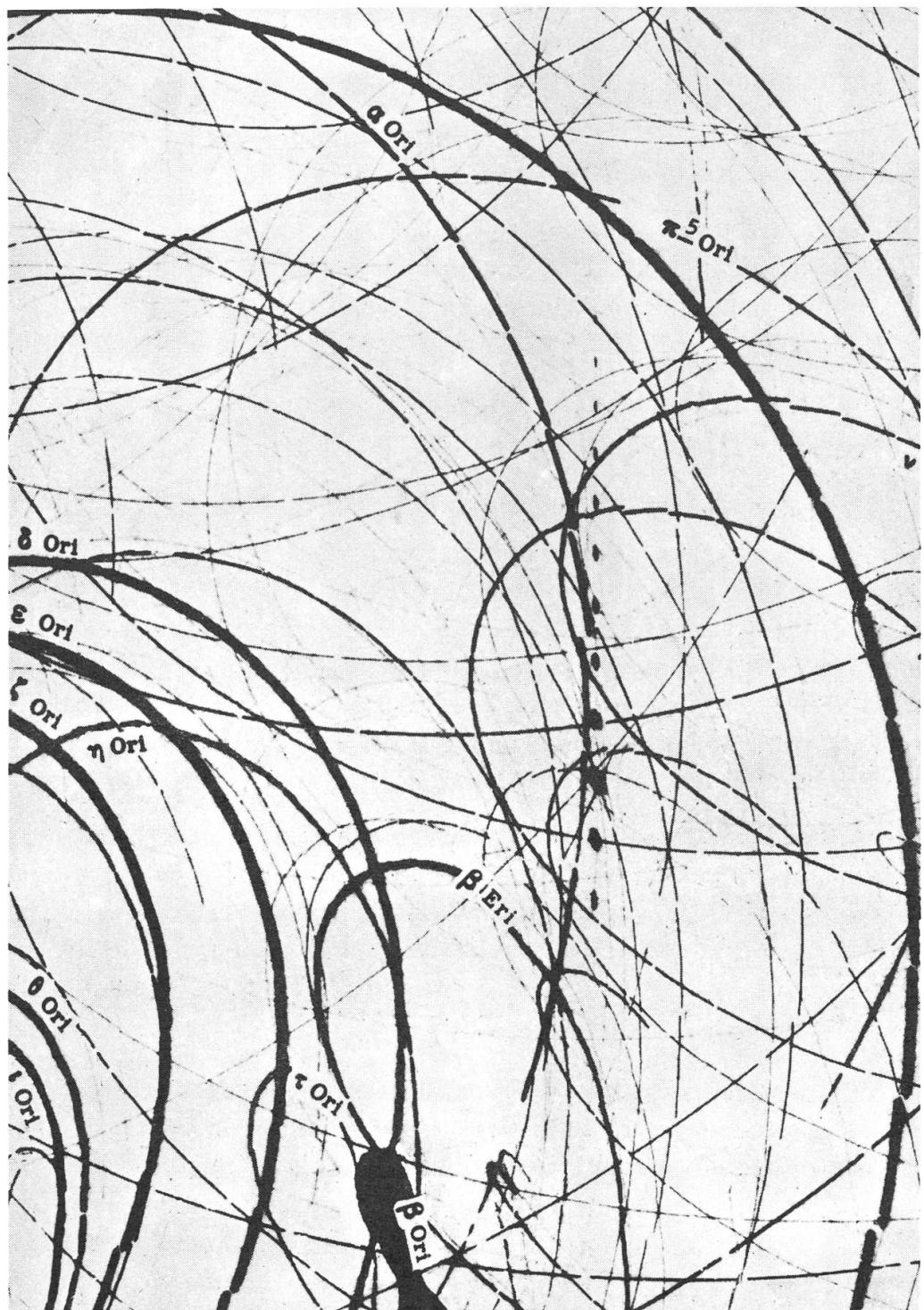


Figure 11 — Trajectoire d'une Tauride. 30 octobre 1954. Chambre tournante.

grand cercle de la trajectoire apparente, en les référant à la sphère céleste. Ces éléments sont en règle générale :

la longitude du noeud du grand cercle avec l'équateur, N
et l'inclinaison équatoriale du grand cercle, I .

Avant d'aller plus loin, nous allons comparer notre méthode avec les méthodes classiques.

Dans la littérature jusqu'à la plus ancienne, concernant les relevés photographiques des trajectoires de météores, on assiste à l'application de l'une des deux méthodes suivantes :

1. Sur un cliché de trajectoire obtenu au moyen d'une chambre entraînée (figure 1), on choisit (figure 12) un certain nombre d'étoiles dont les images sont aussi voisines que possible de la trajectoire apparente, et répartissant ces étoiles par couples, tels que A et B, on mesure les distances respectives de A et B à la trajectoire sur la ligne idéale AB. Connaissant les coordonnées équatoriales respectives de A et B, un calcul proportionnel permet d'en déduire les coordonnées du point de la trajectoire situé sur l'alignement AB ; on procède pareillement avec les alignements des autres couples d'étoiles.

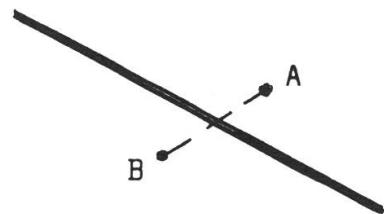


Figure 12

2. Méthode astrographique (type Carte du Ciel). On mesure les coordonnées rectangulaires d'un certain nombre d'étoiles de repère contenues dans l'étendue du champ, ainsi que les coordonnées rectangulaires de points adoptés arbitrairement sur la trajectoire. Cette méthode est plus laborieuse que la précédente, mais elle conduit à des déterminations en principe plus sûres.

A côté d'avantages plus directement sensibles dans l'exécution matérielle des mesures, la supériorité de la nouvelle méthode peut apparaître au regard des considérations qui suivent :

— Chacun des points qui définissent la trajectoire dans notre procédé (c'est-à-dire les points sécants), se trouve individuellement déterminé par une série de mesures indépendantes (ordonnées d'une succession de coupures sur le tracé d'image d'étoile correspondant, figure 5) ; d'où l'exercice d'un contrôle mutuel entre ces mesures et la possibilité, qui échappe aux autres méthodes, de faire ressortir l'erreur moyenne interne de chaque détermination ;

— Les deux méthodes sus-rappelées impliquent nécessairement la détermination des deux coordonnées de chacun des points définissant la trajectoire. Pour notre part, ainsi qu'il a été déjà signalé, une seule coordonnée est à déduire des mesures, l'ascension droite, par l'inter-

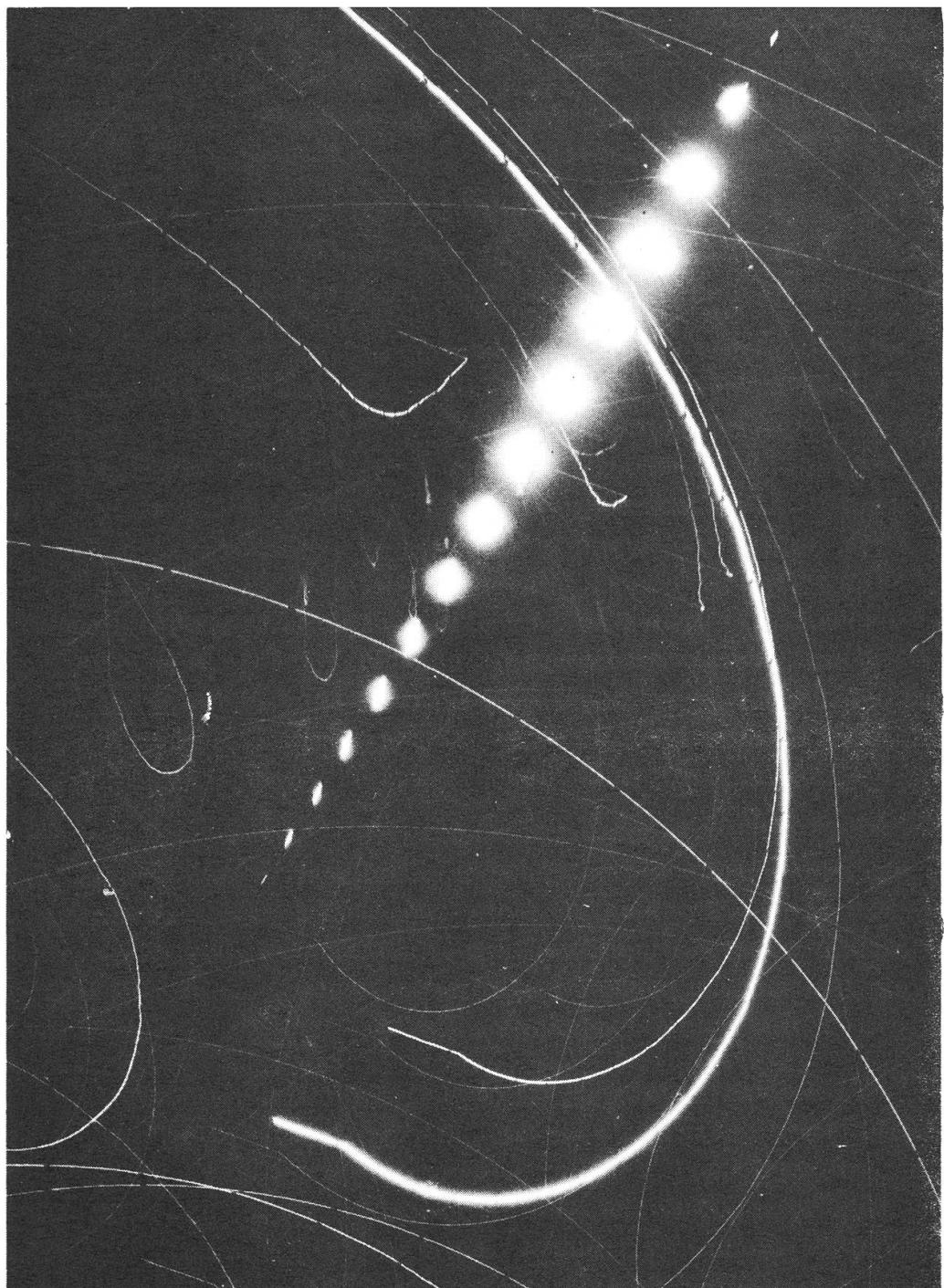


Figure 13 – Bolide du 14 août 1958. Cliché de la station auxiliaire (St Michel).

médiaire de l'angle horaire, parce que les déclinaisons des points sécants sont données une fois pour toutes (déclinaisons des étoiles dont les tracés ont occasionné les sécances avec la trajectoire). Ce n'est pas seulement une simplification considérable pour le travail de réduc-

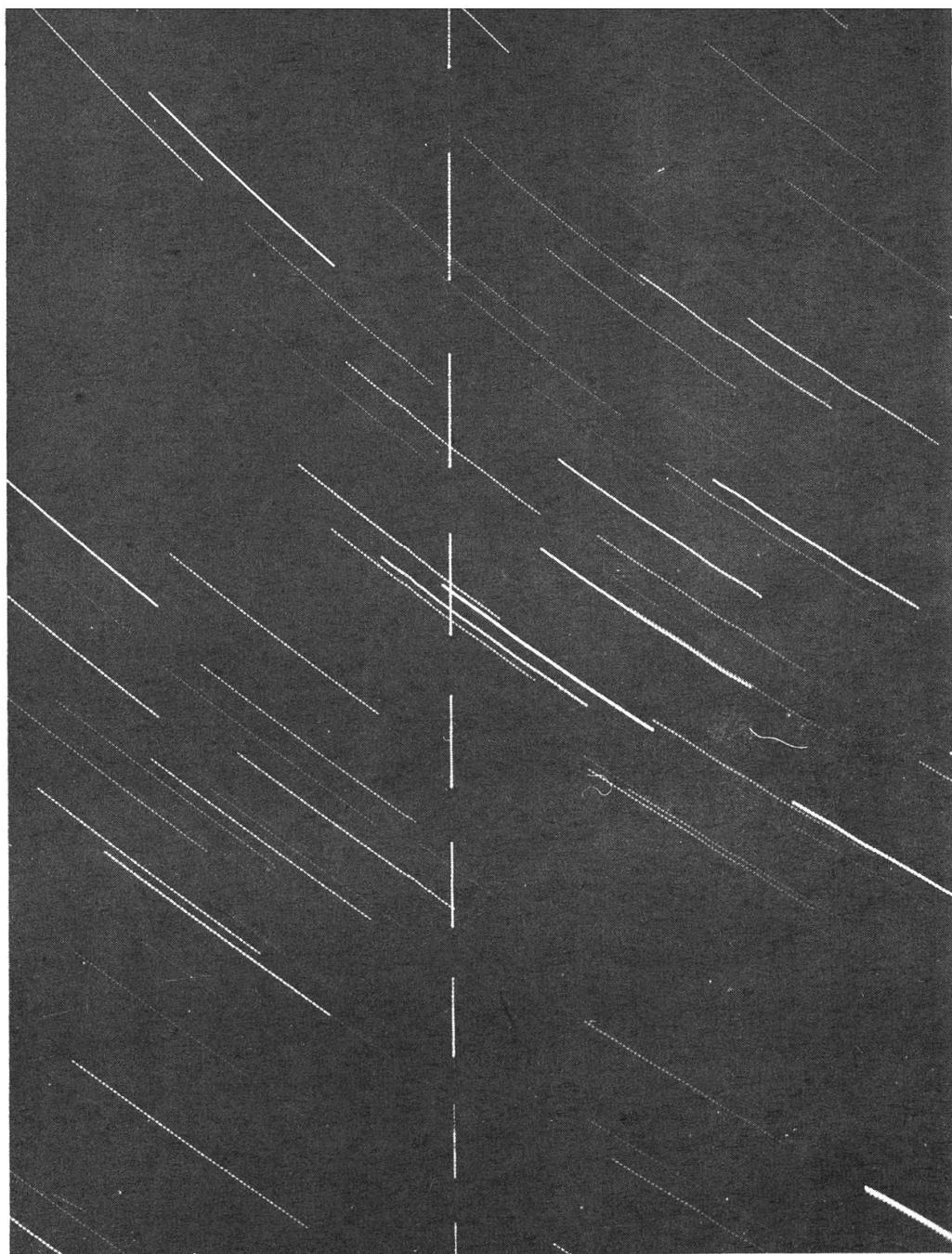


Figure 14 — « Echo 1 ». Forcalquier, 24 août 1960.

tion des mesures ; l'avantage qu'on en tire est encore plus sensible au moment où l'on passe au calcul des éléments du grand cercle de la trajectoire, car les équations à résoudre par moindres carrés ne contiennent plus qu'une seule grandeur aléatoire (asc. droites des points sécants) :

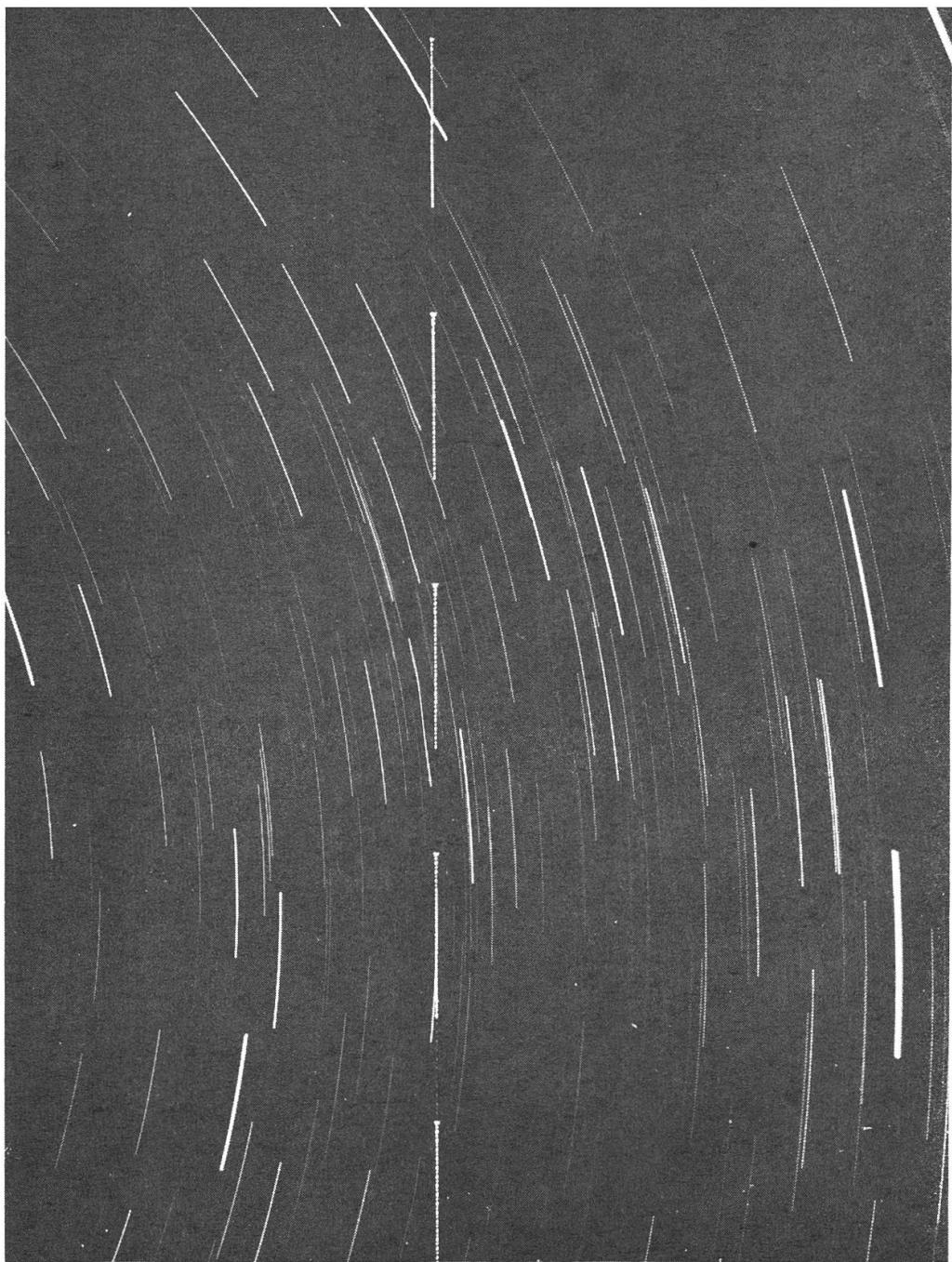


Figure 15 – « Echo 1 ». Forcalquier. 24 août 1960.

– Dans les méthodes classiques, ce sont des étoiles généralement télescopiques qui sont amenées à servir de repères pour les mesures de positions des points qui définissent les trajectoires, et dans les catalogues leurs coordonnées sont rapportées à un équinoxe plus ou moins ancien (1950 ordinairement); avant même d'aborder la réduction

des mesures, les opérateurs étrangers sont tenus à des calculs de conversion des coordonnées ; ce labeur qu'on ne saurait sous-estimer est complètement éliminé par notre méthode d'observation, parce que les étoiles qui produisent les tracés servant à nos mesures sont par définition des étoiles brillantes, appartenant presque toujours aux catalogues fondamentaux (FK 3) : leurs coordonnées apparentes au jour peuvent être relevées instantanément (avec le degré d'approximation convenable), dans le volume annuel qui les met à la disposition des observatoires (Apparent Places of Fundamental Stars).

— Il est paradoxal que tant d'avantages soient acquis au prix, nullement d'une complication, mais bien au contraire d'un allègement incroyable du travail de l'observateur ; l'installation est fixe, non plus guidée sur la rotation équatoriale des constellations. Au surplus ne faut-il pas regarder dans notre dispositif la chambre tournante comme un artifice destiné simplement à compenser l'absence d'entraînement des instruments : un cliché entraîné permet la mesure directe des ascensions droites, mais il ne procure aucune indication sur l'heure de passage des météores photographiés, qu'il est indispensable de connaître pour établir les radiants et calculer les orbites. Le procédé ici exposé répond à tout.

Enfin l'extension de cette méthode à l'observation des satellites artificiels va d'elle-même.

Exemple de résultats obtenus : Trajectoire du 14 août 1958 (deux stations) :

Heure T. U. 20 46' 48''. Radiant $\alpha = 268^\circ 18'$. $\delta = 44^\circ 01'$ (1958,0) ; ces coordonnées correspondent sur le ciel à la région de iota Herculis. L'apparition a eu lieu hors des champs photographiques. Les clichés portent treize sections correspondant à une durée d'enregistrement de 1,3 seconde. On a le tableau suivant des altitudes et vitesses de la météorite au milieu de chaque segment :

| Segment | Altitude | Vitesse |
|---------|----------|---------|
| 1 | 46,1 km | 16,2 km |
| 2 | 44,6 | 15,2 |
| 3 | 43,1 | 14,2 |
| 4 | 41,8 | 13,3 |
| 5 | 40,5 | 12,4 |
| 6 | 39,9 | 11,5 |
| 7 | 38,8 | 10,6 |
| 8 | 37,8 | 9,8 |
| 9 | 36,9 | 8,9 |
| 10 | 36,1 | 8,0 |
| 11 | 35,4 | 7,2 |
| 12 | 34,7 | 6,4 |
| 13 | 34,1 | 5,6 |

L'effet de frein de l'atmosphère sur la vitesse est manifeste. Le segment 13 marque la dernière trace de la météorite sur les clichés.

Adresse de l'auteur :

Institut d'Astrophysique de Paris, Station d'Observation de
FORCALQUIER

ZUSAMMENFASSUNG :

*NEUE METHODE DER PHOTOGRAPHISCHEN METEOR-
BEOBACHTUNG*

Zur Bestimmung der räumlichen Lage der Bahnen von Meteoren und künstlichen Satelliten sind zwei Beobachtungsstationen erforderlich. Die eine der beiden Stationen ist mit zwei identischen Kameras ausgerüstet, die andere besitzt nur eine Kamera.

Die eine der Kameras der ersten Station ist fest auf bestimmte Zenitdistanz und Azimut eingestellt, die andere, deren Achse dieselbe Richtung hat, ist um ihre optische Achse drehbar (rotierende Kamera). Zwei rotierende Sektoren vor den Objektiven gestatten die Bestimmung (a) der Geschwindigkeit des Objektes (rasche Zerhackung seiner Bahnspur) und (b) der Lage der Spur in Bezug auf den Sternhintergrund (langsame Zerhackung der Sternspuren, Unterbrüche zu genau bekannten Zeiten).

Die wesentliche Neuerung besteht in der Einführung der rotierenden Kamera, welche die sehr genaue Bestimmung des Zeitpunktes des Durchgangs der beobachteten Objekte gestattet und damit auch die Festlegung von Rektaszension und Deklination der Bahnpunkte.

Die feste Kamera der zweiten Station, in geeigneter Distanz von der ersten, dient zur trigonometrischen Bestimmung der räumlichen Lage der Bahn.

Diese Methode, ohne nachgeführte Kameras, kann vollständig automatisiert werden und ergibt simultan alle Elemente zur vollständigen Bahnbestimmung. Sie könnte u.U. ein Tätigkeitsfeld einiger Amateurgruppen werden. Der Verfasser hat seine Messungen zuerst auf den Stationen Forcalquier und St. Michel (Hte. Provence) ausgeführt.