

de deux étoiles en paire, en principe, ne passe plus de 10 à 15 minutes, les variations différentielles d'azimut sont négligeables. Surtout, si la variation d'azimut en fonction de temps n'est pas régulière, la méthode des paires est très bonne sortie de la situation. Donc, il nous semble que nous avons assez d'arguments de la recommander pour les observations aux instruments des passages.

L I T É R A T U R E

1. G. P. Pilnik, Astr. journal, 36, 5, 1959
2. G. P. Pilnik, Astr. journal, 37, 3, 1960
3. A. A. Némiro, Izv. GAO, 20, 157, 1957.
4. A. A. Némiro, Troudy Astr. opserv., 23, 40, 1966.
5. M. Jovanović, Bulletin de l'Obs. astr. de Belgrade (en presse)
6. D. Djurović et V. Radogostić, Publ. de la chaire d'astronomie de l'Univ. de Belgrade, 1, 1969.

Les erreurs d'inclinaison et d'azimut aux instruments des passages

Introduction. L'accord intrinsèque des résultats d'observation au Service de l'heure de l'Observatoire astronomique à Belgrade n'est pas satisfaisant. L'erreur moyenne quadratique de la correction de l'horloge, d'après l'observation d'un groupe de dix étoiles, est $\pm 0^s.011$.

Une analyse plus complète des erreurs accidentelles et systématiques, que nous avons fait plus tôt [1], a montré qu'on peut améliorer la précision de nos résultats. En ce sens nous y avons donné les recommandations concrètes.

Dans le présent article nous exposons un peu plus en détail le problème de la détermination de l'inclinaison et de l'azimut de l'axe horizontale.

1. Les erreurs de l'inclinaison

Les inclinaisons de l'axe horizontale de l'instrument des passages BAMBERG N° 63131, auquel on observe les passages méridiens des étoiles à l'Observatoire astronomique de Belgrade, sont mesurées par le niveau ASKANIA de 80 parties. Au cours de l'observation de chaque étoile on a lu le niveau en deux positions de l'instrument, "micromètre-ouest" - (W) et "micromètre-est" - (E).

La valeur moyenne d'une partie du niveau à la température $t = +10^{\circ}$ et avec la longueur de la bulle $l = 50$ parties est $\nu = 1''071 \pm 0''001$.

Les erreurs accidentelles de l'inclinaison sont très grandes. L'erreur moyenne quadratique d'une valeur est $\epsilon_b = +12$ ms. Elle serait encore plus grande si les erreurs grossières, avant du calcul ϵ_b , n'étaient pas éliminées.

Avec les niveaux du même type on peut obtenir la précision dix fois plus haute que celle que nous avons obtenue. Par exemple, à Poulcovo, après certaines reconstructions techniques ils obtiennent $\epsilon_b = +1,5$ ms [2].

L'examen détaillé du niveau d'après les méthodes de Vassiljev, Krasovski et Jordan [3] a montré que la surface intérieure de l'ampoule du niveau possède de grands défauts. L'erreur de la polissage est de l'ordre de grandeur 10 ms. Donc, nous avons la raison si nous admettons que les grandes erreurs accidentelles proviennent de la mauvaise polissage de la surface intérieure du niveau. Nous croyons que son remplacement par une autre, de la qualité meilleure, diminuerait ϵ_b . Aussi, il faut améliorer la précision de la lecture du niveau.

Les variations de l'inclinaison au cours d'observation ne sont pas négligeables. Dans la table 1 nous donnons le nombre des nuits n en 1967, pendant lesquelles ces variations au cours d'une heure d'observation restent dans les limites données.

T a b l e 1

$\frac{\Delta \epsilon}{\Delta t}$	n
0-5 ms	56
5-10	29
10-15	12
15-20	5
20-25 ms	1

Nous voyons que seulement au cours de 54% de nuits la variation horaire de l'inclinaison se trouvait dans les limites de ± 5 ms. Nous expliquons cette instabilité d'inclinaisons et, comme nous verrons plus tard, d'azimuts par le fait que le pilier de

l'instrument n'est fondu qu'à 1 m. de profondeur.

Comme dans les réductions des observations nous avons appliqué l'inclinaison pour le moment d'observation de l'étoile donnée, ce phénomène ne causait pas les erreurs dans nos résultats.

Au but d'étudier les variations systématiques de l'inclinaison en fonction de la distance zénithale z ou de déclinaison δ , pour une nuit donnée d'observation, nous avons éliminé sa marche en fonction du temps. Ce n'était pas difficile parce que nous avons pu représenter cette marche par les droites du type de ceux de la fig. 1.

Après cela, nous avons pu calculer les différences $\Delta\beta_i = \beta_i - \beta_d$ (β_i - l'inclinaison mesurée, β_d - l'inclinaison correspondante de la droite), ranger $\Delta\beta_i$ par zones de δ et calculer les moyennes. Dans la table 2 nous donnons $\Delta\beta_i$, qui sont $\Delta\beta_i$ corrigées par les corrections pour les irrégularités des tourillons [3]. Dans la troisième colonne m_i sont les erreurs moyennes quadratiques de $\Delta\beta_i$.

T a b l e 2					
δ	$\Delta\beta_i$	m_i	δ	$\Delta\beta_i$	m_i
+ 65°	- 6 ms	+ 2 ms	+ 30°	+ 1 ms	+ 2 ms
60	- 2	2	25	+ 3	2
55	- 3	2	20	0	2
50	+ 1	2	15	- 1	2
45	+ 4	1	10	- 1	3
40	+ 1	2	5	- 4	2
35	+ 2	2	0	- 4	+ 2

Nous voyons que les variations de l'inclinaison en fonction de δ ne sont pas négligeables, mais elles sont beaucoup plus petites que les erreurs accidentelles. Malgré le fait que $\Delta\beta_i$ ne sont pas déterminées avec une grande sûreté, à cause des raisons connues, dans les réductions de nos observations il est mieux d'utiliser β_d que β_i . Comme nous avons déjà dit, la variation de l'inclinaison en fonction du temps est linéaire et le calcul de β_d n'est pas un problème.

Pour retenir l'influence des erreurs systématiques du niveau constante, l'inclinaison fut souvent corrigée. Elle ne dépassait pas 2-3 parties. À cause de cela, nous ne pourrions pas, d'après les données disponibles, analyser ses variations aux intervalles du temps plus long. Tout de même, nous avons remarqué que de jour en jour, l'inclinaison a la tendance de varier linéairement. Sur la fig. 2 sont représentées les valeurs des inclinaisons moyennes en fonction de temps (dates des observations).

Cette remarque fut d'intérêt particulier pour nous de la raison suivante: mesures des températures à la distance de 1 m. d'un et de l'autre côté de l'instrument, qu'on fait avant et après chaque observation, montrent qu'il existe une variable différence de températures de côté ouest et de côté est. Sa valeur moyenne annuelle $\Delta t = t_w - t_e = + 0.3$. Elle varie beaucoup de nuit en nuit. Quelqufois elle atteint même + 1.5. Comme le niveau réagit vivement au chauffage asymétrique, nous avons admis que la dispersion Δ_i des inclinaisons par rapport aux droites de la fig. 2 a une composante qui provienne des variations Δt et qui n'est pas réelle. Donc, nous avons admis que Δt_i provoquent les erreurs en inclinaisons. Cependant, l'analyse de la corrélation entre Δ_i et Δt_i a montré que nous n'avons pas le droit: le coefficient de corrélation est $R = 0.19$. Cela signifie qu'aux procès de fabrication on a tenu compte d'isolation thermique des niveaux. Nous ne souhaitons pas démentir l'existence des effets fins qu'on pourrait détecter avec les mesures de températures plus directes et plus précises que celles que nous avons faites.

Souvent, dans la littérature astronomique nous trouvons qu'on parle de la différence systématique des inclinaisons mesurées en deux ordres d'observation: WE et EW. Elle existe aussi chez nous. Sa valeur est $\beta_{WE} - \beta_{EW} = 6 \text{ ms}$ [4]. Comme elle fut analysée plus tôt en détails par Z. Brkić, nous n'insisterons pas sur elle.

2. Les erreurs des azimuts

D'après la formule de Mayer:

$$c = \mathcal{L} - (T + N\beta + M A) \quad \text{ou} \quad (1)$$

$$c = U - M A, \quad (2)$$

nous avons calculé l'azimut A à la manière suivante: de toutes les étoiles observées par D. Djurović au cours d'une nuit donnée (le nombre total d'étoiles: $N=36-48$), nous avons séparé les étoiles zénithales ($|z| \leq 10^\circ$) et les autres en dehors de cette zone. Si nous désignons avec U_z et M_z les moyennes des valeurs U_i et M_i des étoiles zénithales, nous avons calculé l'azimut A par l'équation:

$$A_i = \frac{U_i - U_z}{M_i - M_z}, \quad (3)$$

ou U_i et M_i sont U et M des étoiles nonzénithales. Puisque le programme était tel que les étoiles zénithales font un tiers, le nombre des azimuts que nous avons calculé pour chaque nuit était, environ, 25-35.

Les valeurs A_i , de la même raison que les inclinaisons, sont les fonction de temps. On voit bien cela de la fig. 3 sur laquelle nous avons représenté cette dépendance pour quelques nuits pendant lesquelles elle était très évidente. Il est clair que ΔA n'est négligeable: souvent, pendant 3-5 heures d'observation, ΔA est de l'ordre de grandeur + 100 ms. Donc, l'application des azimuts moyennes dans les réductions peut causer de grandes erreurs.

Les poids A_i , calculées à l'aide de l'équation (3), diffèrent beaucoup entre eux. De ce fait nous avons tenu compte en étudiant la variation A_i au cours de l'observation. En admettant que les erreurs de l'observation sont proportionnelles à $\sec \delta_i$, à chaque valeur A_i nous avons attribué le poids p calculé à l'aide des équations:

$$p = \frac{1}{\mathcal{E}_A^2} \quad \text{et} \quad (4)$$

$$\mathcal{E}_A^2 = \frac{\sec^2 \delta_i}{(M_i - M_z)^2} \quad (5)$$

\mathcal{E}_A - désigne l'erreur moyenne quadratique d'une valeur A . Pour l'erreur moyenne quadratique d'observation des étoiles équatoriales, nous avons adopté $\mathcal{E} = 1$.

Pour le calcul de coefficients des équations:

$$A = A_0 + \frac{\Delta A}{\Delta t} (t_i - t_0) \quad (6)$$

nous n'avons pas utilisé la méthode des moindres carrées. Notre avis était qu'une méthode moins exacte, mais plus économique, donnera les résultats satisfaisantes, puisque le nombre des A_i ne dépassait pas 40 et, puisque d'autre part les erreurs accidentelles sont grandes.

Nous avons rangé tous les A_i d'après les ascensions droites α_i croissantes et après leur division en deux groupes des poids égaux, nous avons calculé les valeurs moyennes A_1, \mathcal{L}_1 et A_2, \mathcal{L}_2 . Nous avons obtenu A_0 et $\frac{\Delta A}{\Delta t}$ à l'aide des

équations:

$$A_0 = \frac{\sum p_i' A_i}{\sum p_i} \quad (7)$$

$$\frac{\Delta A}{\Delta t} = \frac{A_2 - A_1}{d_2 - d_1} \quad (8)$$

Nous avons rangé les résidus $\Delta A_i = A_i - A_c$ (A_c - l'azimut calculé) en fonction de déclinaison et de cette manière nous avons pu obtenir les moyennes ΔA_m et les erreurs $E_{\Delta A_m}$. Les poids p' et p , calculés a priori et a posteriori, sont en bonne corrélation: le coefficient de corrélation fut $R_1 = 0.9$. C'est pourquoi nous n'avons pas recalculé A_0 et $\frac{\Delta A}{\Delta t}$.

ΔA_m (table 3), évidemment, sont très grands. Les erreurs de leur détermination $E_{\Delta A_m}$ sont plus petites et cela nous montre, sans doute, qu'elles ne sont pas de l'origine accidentelle.

Tenant compte que M_i pour certaines étoiles de notre programme ($-10^\circ \leq \delta \leq +70^\circ$) dépassent 1,000, si nous négligeons ΔA_m l'accord interne des corrections de l'horloge fondamentale sera mauvais. D'autre côté, malgré le fait que nous nous tâchons que dans chaque groupe d'étoiles la condition $\sum M_i = 0$ soit remplie, cette condition n'assure pas que les corrections moyennes seront libres d'erreurs ΔA_m .

T a b l e 3					
δ	ΔA_m	$E_{\Delta A_m}$	δ	ΔA_m	$E_{\Delta A_m}$
- 0.5	- 14 ms	+ 6 ms	+ 14.5	+ 7 ms	+ 6 ms
+ 1.5	- 30	9	17.0	- 21	7
3.0	- 19	7	20.5	- 8	6
5.0	- 14	7	22.5	- 2	6
6.0	- 36	7	26.0	+ 27	7
7.0	- 1	7	32.0	+ 10	7
8.5	- 11	6	57.0	+ 32	7
10.5	+ 2	7	62.5	+ 48	7
12.5	- 1	8	65.0	+ 41	6

Si la composition des groupes est fixe, entre eux peut exister la différence systématique causée des ΔA_m .

L'origine ΔA_m , comme nous avons montré plus tôt [1], doit chercher au catalogue fondamentale FK4. Les erreurs ΔA_i FK4, calculées à l'aide des ΔA_m et d'après le catalogue F678 [6] sont représentées sur la fig. 3 par courbes a et b, respectivement. F678 est le résultat d'observations à l'instrument des passages photoélectrique de Poulkovo. On le considère comme le catalogue de très haute précision.

Au dernier temps il y a d'avis qu'il ne faut pas utiliser toutes les étoiles observées pour le calcul de l'azimut. V. E. Brandt [7] et certains autres auteurs ont montré qu'il est, aux observatoires de plus hautes latitudes, plus favorable de calculer A_i de la combinaison d'étoiles équatoriales et zénithales. Ces théories sont fondées sur l'analyse des erreurs accidentelles des azimuts. Au but de voir au cas concret y-a-t-il de raison d'accepter ces méthodes, avec le calcul ΔA_m nous avons calculé aussi les erreurs moyennes quadratiques E_A de détermination A d'après l'observation d'une étoile de la déclinaison δ et groupe de dizaine d'étoiles zénithales. Nous donnons dans la table 3. ces erreurs avec les poids p , calculées à la condition: $p=10$ pour $\delta = 0$, et le nombre total des résidus n .

T a b l e 3			
δ	ϵ_A	p	n
- 0.5	+ 28 ms	10	19
+ 1.5	29	10	11
3.0	30	9	18
5.0	31	8	18
6.0	31	8	21
7.0	32	8	23
8.5	34	7	29
10.5	35	7	26
12.5	36	6	23
14.5	38	6	40
17.0	39	5	32
20.5	44	4	54
22.5	48	4	56
26.0	58	2	59
32.0	80	1	123
57.0	94	1	192
62.5	62	2	91
+ 65.0	+ 52	3	65

De point de vue des erreurs accidentelles, une étoile équatoriale a le poids égal au poids 10 étoiles de déclinaison $\delta = + 57^\circ$. Si nous avons en vue que les erreurs du catalogue fondamental croissent avec l'éloignement de l'équateur, il est clair que pour le calcul de l'azimut de l'axe horizontale de l'instrument des passages du Service de l'heure à Belgrade il faut utiliser seulement les étoiles équatoriales et zénithales.

3. C o n c l u s i o n

A la situation actuelle, pour le calcul des inclinaisons il faut utiliser les méthodes du glissement. L'approximation d'inclinaison en fonction de temps par la droite assure la précision satisfaisante. En avenir, il faut munir l'instrument des passages du niveau de la meilleure qualité.

Le programme d'observation doit contenir suffisamment d'étoiles équatoriales et zénithales ainsi que l'approximation de l'azimut peut être faite avec la précision satisfaisante.

Il faut tenir compte des variations systématiques de l'azimut ΔA_m et les appliquer aux réductions.

Il faut utiliser les résultats d'observations, faites en chaîne, pour le calcul des erreurs du catalogue fondamental. Ainsi on aura les corrections des ascensions droites qui rendront la détermination astronomique de l'heure plus précise.

L I T É R A T U R E

- [1] D. Djurović et V. Radogostić: Pritchini glavnih, présenté a la 19-ème Conf. , Poulkovo, 1969.
- [2] N. N. Pavlov: Troudy 15-ème Conf. , 1960.
- [3] D. Djurović: L'examen du niveau. . . , Bull. de l'Obs. a Belgrade (en presse)
- [4] M. Yovanović: L'examen des tourillons. . . (en presse)
- [5] Z. Brkić: Publ. de l'Obs. à Belgrade, N°7, 1961
- [6] N. N. Pavlov; Staricin, Afanaseva: Troudy GAO, 75, 1966.
- [7] V. E. Brandth: Troudy CNIGAIK, 64, 1949.

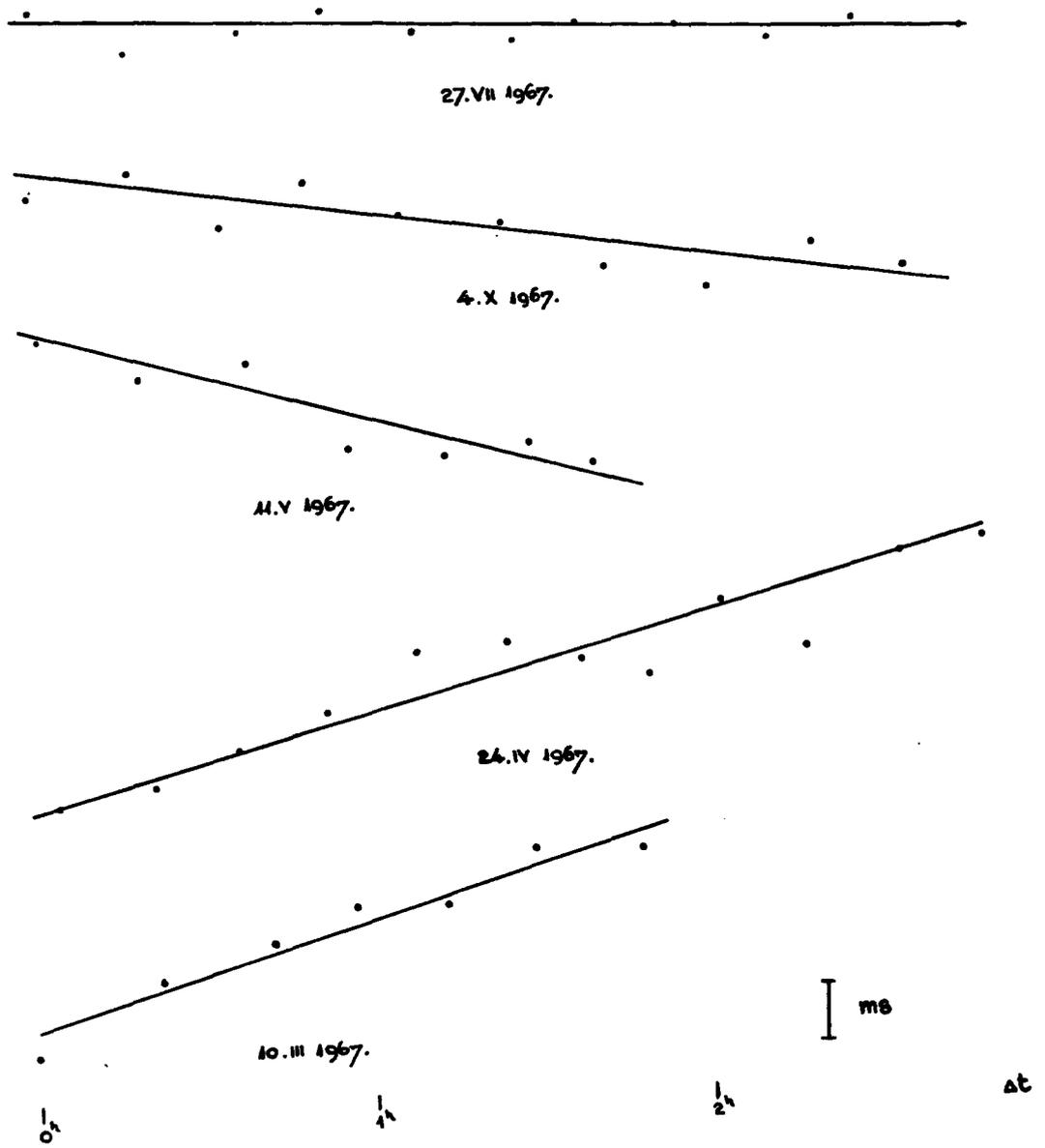
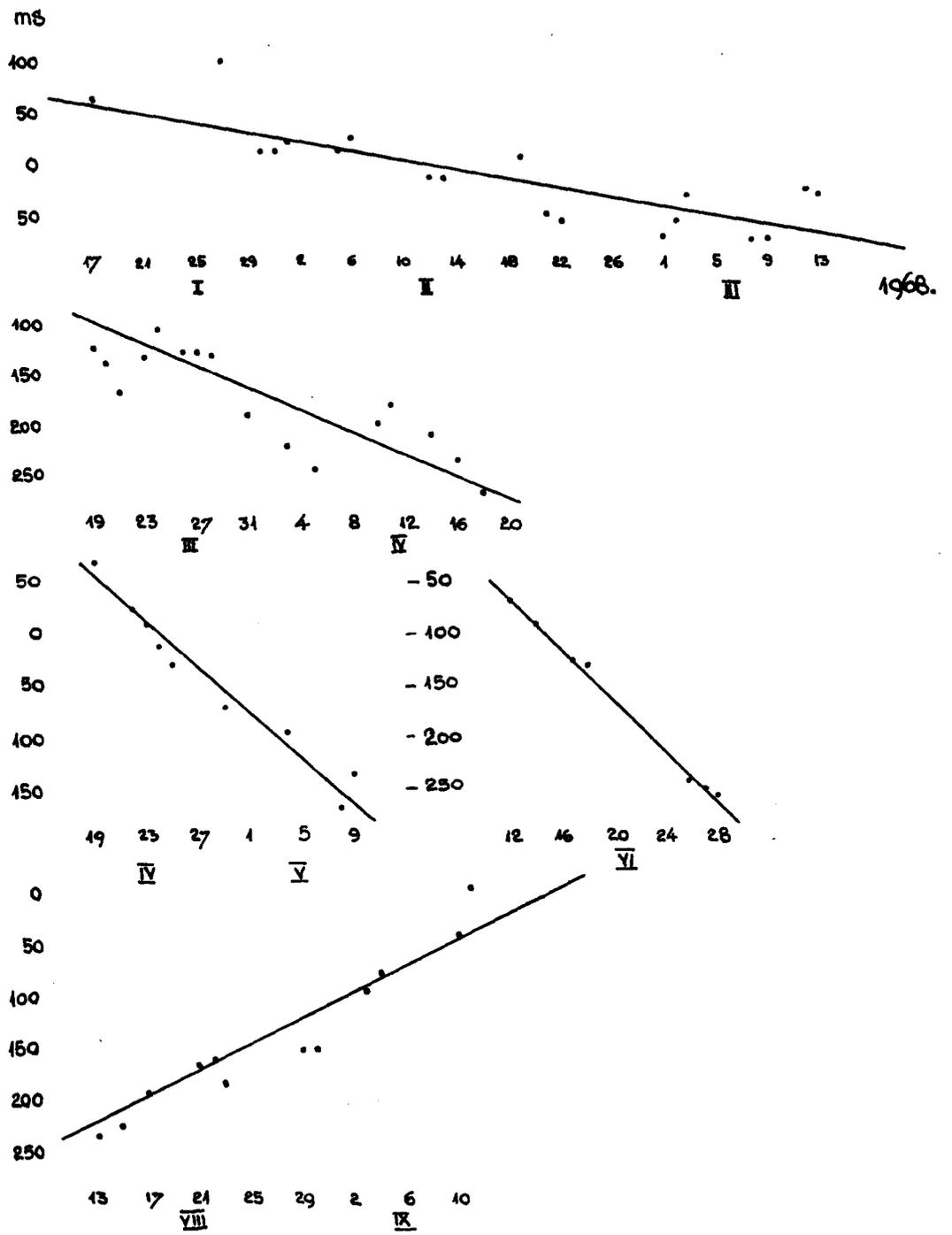
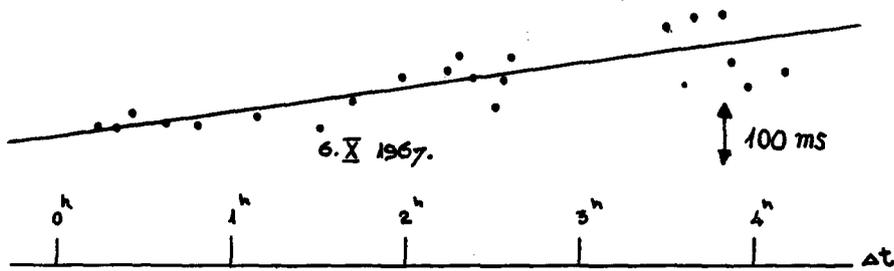
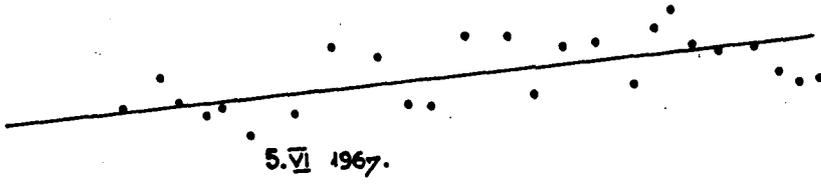
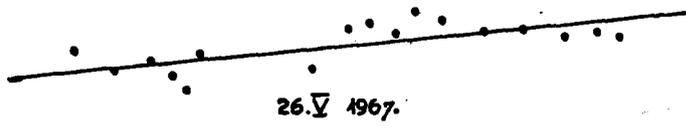


fig. 1

Variations d'inclinaison au cours d'observation



VARIATIONS d'inclinaison de jour en jour
fig.2



Variation d'azimut au cours d'observation
fig. 3

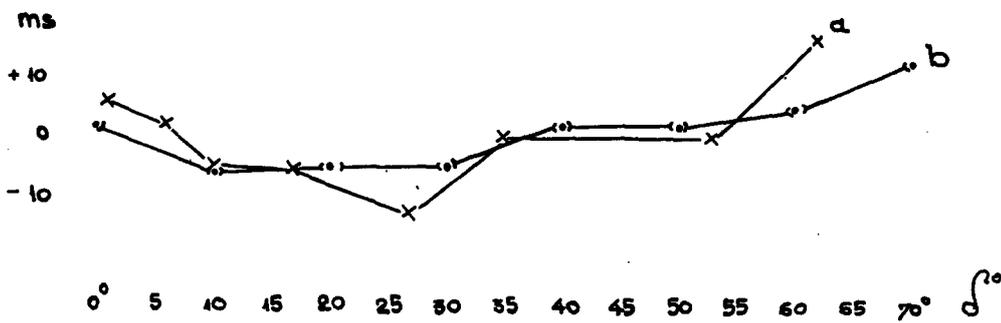


fig. 4
 $\Delta \alpha_s$ du catalogue FK4