

Zeitschrift: Archives des sciences physiques et naturelles
Herausgeber: Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève
Band: 14 (1932)

Artikel: Recherches expérimentales sur la largeur des raies spectrales de l'hydrogène stellaire
Autor: Rossier, Paul
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-740773>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 05.05.2025

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

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES
SUR
LA LARGEUR DES RAIES SPECTRALES
DE L'HYDROGÈNE STELLAIRE

PAR
Paul ROSSIER

(Avec 8 figures.)

1. — Les méthodes astrophysiques de détermination des magnitudes absolues, la distinction des étoiles naines et géantes, l'application des théories de l'ionisation à l'astrophysique ont donné, ces dernières années, une importance capitale à l'étude détaillée des raies spectrales dues aux substances qui composent la couche renversante des atmosphères stellaires.

La théorie des phénomènes dus à l'hydrogène semble présenter des difficultés particulières ¹. Nous disposons à l'Observatoire de Genève de nombreuses mesures de *largeurs* de raies de l'hydrogène. Leur étude n'est certainement pas dénuée d'intérêt, dans l'état actuel du problème. Sans doute, la méthode spectrophotométrique est-elle plus complète et plus féconde que celle visée dans le présent travail; cependant, le procédé simple des mesures de largeurs de raies au spectrocomparateur mérite quelque attention; nous en dirons plus loin la raison

¹ A. UNSÖLD, Ueber die Balmerserie des Wasserstoffs im Sonnenspektrum. *Zeitschrift für Physik*, 59, p. 353 (1930).

(n° 4); cette méthode a d'ailleurs été utilisée à plus d'une reprise dans d'autres problèmes ¹.

2. — Les résultats ci-dessous proviennent de la discussion de 463 spectrogrammes, appartenant à 400 étoiles environ et répartis sur 313 clichés obtenus au prisme-objectif de Schaer-Boulanger de l'Observatoire de Genève, monté sur l'équatorial Plantamour ². Ils concernent uniquement des étoiles du type spectral A₀, déterminées d'après le *Henry Draper Catalogue*, après identification de l'étoile sur la photographie. Sur la plupart de nos clichés, l'étoile guide appartient à ce type.

Pour chaque étoile, nous avons mesuré la longueur du spectrogramme et la largeur des raies visibles (de l'hydrogène et parfois du calcium). Les raies extrêmes atteintes sont H β et H ϵ , cette dernière très rarement. Dans l'étude qui suit, nous avons éliminé cette dernière raie, toujours faible et très floue.

Les deux raies H γ et H du Calcium sont confondues sur nos spectrogrammes.

Le spectrocomparateur ³ utilisé, don de la *Société académique de Genève*, permet des lectures à 1 μ près. L'expérience a montré que, même dans des conditions défavorables, il est exceptionnel que deux pointés de bord de raie diffèrent de plus de 20 μ . L'erreur accidentelle de visé d'un bord de raie est donc de l'ordre de 10 μ . Chaque bord ayant été pointé deux fois, nos largeurs de raies sont déterminées environ à 10 μ près. Reste

¹ Voir entr'autres les travaux de MM. ABETTI, TIERCY et COLACEVITCH à Arcetri, *Osservazioni e Memorie del R. Osservatorio astrofisico di Arcetri-Firenze*, fasc. 41, 42, 44, 47.

² Pour la description de l'instrument voir P. ROSSIER, L'équatorial Plantamour de l'Observatoire de Genève, *Archives*, 5, (10), p. 243 (1928).

Pour la dispersion de l'appareil voir P. ROSSIER, Relation entre les abscisses des extrémités d'un spectrogramme stellaire. *Archives*, 5, (12), p. 349 (1930).

Les mêmes dans *Publications de l'Observatoire de Genève*, fasc. 4 (1928) et 13 (1931).

³ Pour plus de détails sur cet appareil voir P. ROSSIER, Photométrie spectrographique et extinction atmosphérique. *Archives*, 5, (13), p. 82 (1931); le même dans *Publications de l'Observatoire de Genève*, fasc. 14 (1931).

l'incertitude provenant du flou du cliché. La mise au point a été faite pour le bleu-violet et les raies ultra-violettes ne sont jamais nettes. La largeur des raies est de l'ordre de 100 ou de 200 μ . Les erreurs de pointé entraînent donc une erreur, très variable d'un cas à l'autre, de l'ordre de 5 à 10% de la largeur de la raie.

D'une étude spéciale de la longueur des spectrogrammes, nous avons conclu, par deux méthodes différentes, que cette longueur est déterminée à environ 300 μ près, sur une quinzaine de mm ¹. Cela représente du 3% environ, soit notablement moins que sur les largeurs de raies.

3. — Nous avons donné ailleurs ² un exemple de nos fiches d'observation et de calcul. Celles-ci ont été complétées par une colonne « largeurs relatives des raies », obtenue comme suit: on additionne les largeurs des trois raies H_γ , H_δ et $H + H_\epsilon$, qui sont les plus nettes avec la mise au point choisie, puis on prend comme unité de longueur la centième partie de cette somme. On exprime enfin la largeur de chaque raie au moyen de cette unité. Les largeurs absolues des raies étant connues à environ 10%, il suffit de calculer les largeurs relatives à une unité près, soit généralement avec deux chiffres significatifs. Donnons un exemple.

Cliché B 103		Etoile HD 198391	
	Largeur absolue		Largeur relative
H_β	136 μ		38
H_γ	106	} 356	30
H_δ	104		29
$H + H_\epsilon$	146		41
H_ζ	161		45
Totaux:	653		183

$$\text{Vérification : } \frac{653}{183} = 1,83$$

¹ P. ROSSIER, Relation entre les abscisses des extrémités d'un spectrogramme stellaire, *loc. cit.*

² P. ROSSIER, Photométrie spectrographique et extinction atmosphérique, *loc. cit.*

4. — Le terme de largeur de raie demande quelques précisions. Une raie manifeste son existence par un minimum de noircissement du spectrogramme. La largeur théorique de la raie est définie en faisant intervenir l'aire comprise entre la courbe observée et une courbe sans affaissement dans la région considérée. Cette définition suppose qu'on possède un microphotogramme du spectrogramme étudié.

Nos largeurs ne sont, au contraire, que la distance de ce qui, sous le microscope, nous a semblé être les bords de la raie, ou mieux les régions de variation la plus rapide du noircissement.

Cette notion est évidemment très subjective. Cependant comme toutes les mesures ont été effectuées par le même observateur, sur le même appareil, il y a lieu de considérer qu'il existe une relation entre la largeur théorique, qui seule a un sens physique bien défini, et nos largeurs expérimentales, de telle sorte que ces dernières, grâce à leur homogénéité, peuvent servir de base à une étude.

La série mesurée comporte une marge considérable de longueurs de spectrogrammes (8 à 20 mm). Une longueur d'une douzaine de millimètres correspond à peu près à une étoile de magnitude 5 à 6, une exposition de 20 minutes et un élargissement inférieur à 0,1 mm. Dans ces conditions, le noircissement du spectrogramme est normal dans la région la plus nette et les bords de raies sont bien définis. Lorsqu'on augmente beaucoup l'éclat de l'étoile ou la durée de la pose, les raies sont envahies et le spectrogramme est fortement élargi par irradiation photographique. Dans cet élargissement, et au voisinage de chaque raie, on observe un affaiblissement très considérable du noircissement. La largeur totale de la région influencée par la raie est beaucoup plus considérable que la seule largeur mesurée. Devant les complications que présente l'étude de l'irradiation photographique, il semble difficile de tirer parti de mesures faites sur la région du spectrogramme due à l'image irradiée. La largeur mesurée d'une raie dépend non seulement de l'état physique de la source, mais beaucoup des conditions de l'observation. *A priori* les largeurs relatives sont probablement moins variables.

L'envahissement des raies des étoiles brillantes comporte un

inconvenient grave dans le cas particulier. La largeur observée est très faible et l'erreur relative augmentée de ce fait. Il arrive même que tout ou partie des raies principales H_γ , H_δ et $H + H_2$ n'aient qu'une largeur non mesurable. Nous avons exclu ces cas de l'étude des largeurs relatives, qui alors sont indéterminées ou mal déterminées. 53 spectrogrammes ont dû être éliminés *a priori* d'une partie de la discussion pour la cause précédente ou parce que la mesure correcte de la largeur d'une raie principale était impossible (défauts de plaque, superposition partielle de spectrogrammes...).

5. — Sur la plupart des spectrogrammes, la raie K du calcium est invisible. Elle est cependant observable, mais trop étroite pour que sa largeur soit mesurable, sur 125 d'entre eux (plus du quart).

Dans 22 cas, la raie K est suffisamment large pour que ses deux bords puissent être pointés sous le microscope. Afin de nous assurer qu'il ne s'agissait pas là d'un accident de plaque, nous avons repris, plusieurs fois, un cliché de l'étoile anormale, souvent avec plus d'une année de recul. Lors de l'étude du cliché, qui a toujours lieu avec un retard notable sur la date d'exposition, ces clichés ont passé à leur tour, sans que rien ne puisse annoncer qu'il s'agissait de doublets. Là encore, la présence de la raie K a été notée, presque toujours avec la qualification « anormalement large ». La réalité de l'anomalie est donc bien certaine.

La question se posait de savoir si notre ensemble d'étoiles photographiées pouvait être considéré comme suffisamment homogène. Nous avons traité à part nos trois séries de spectrogrammes, et rien dans les graphiques ci-joints ne semble distinguer les étoiles à raie « K visible mais étroite » (signalées par des cercles ○) ou à raie « K large » (cercles barrés Φ) de celles notées « K invisible » (disques ●), si ce n'est peut-être une dispersion plus considérable. Il est peut-être possible d'expliquer la présence ou l'absence de la raie K par un simple phénomène de qualité d'image photographique, variable avec l'état de l'atmosphère et la précision du guidage. Cette interprétation ne résout pas la difficulté présentée par les étoiles à raie K.

large. Les documents nous manquent actuellement pour comparer nos spectrogrammes à ceux d'autres types spectraux.

La raie $H + H_2$ a souvent présenté une apparence assez compliquée, due probablement à la complexité de son origine. Il nous a été impossible d'établir une classification de ces anomalies, très variables d'un cas à l'autre, et difficiles à préciser avec une dispersion aussi faible que celle de notre appareil.

6. — Nous avons montré ailleurs l'existence d'une relation entre la magnitude de l'étoile photographiée et la longueur du spectrogramme (à durée de pose constante)¹. Les conditions d'observation, notamment l'état d'humidité de l'atmosphère, influencent cette longueur. Celle-ci doit donc constituer une assez bonne mesure de l'énergie reçue par la plaque. Or, *a priori*, il doit exister une relation entre cette énergie et la largeur Δ d'une raie. En tous cas l'irradiation photographique longitudinale dans le spectrogramme diminue Δ lorsque l'éclat augmente. Pour le montrer, nous avons construit les graphiques ci-joints, représentant, pour chacune des raies observées, la largeur absolue Δ et la largeur relative ρ en fonction de la longueur L du spectrogramme. Nous avons ajouté un graphique donnant la somme des trois largeurs de H_γ , H_δ et $H + H_2$. L'axe des Δ est gradué en μ et en angströms.

Pour les plus longs de nos spectrogrammes, la largeur de nos raies principales est pratiquement nulle; les raies ultra-violettes, très étroites, ne sont pas observables, noyées par le manque de netteté. La détermination des largeurs relatives est donc impossible pour ces longs spectrogrammes.

Chaque figure montre suffisamment nettement l'existence d'une relation d'allure hyperbolique entre les deux quantités L et Δ .

L'asymptote verticale semble être voisine de la valeur 8 mm de L , valeur au-dessous de laquelle le spectrogramme est trop faible pour être repéré avec certitude.

¹ P. ROSSIER, Photométrie spectrographique et extinction atmosphérique, *loc. cit.*

7. — Donnons une esquisse de la détermination théorique d'une relation

$$\Delta = \Delta(L) .$$

Appelons $\lambda = \varphi(l)$ la dispersion du système (l = abscisse du point du spectrogramme de longueur d'onde λ),

$e(\lambda) = e(\varphi(l)) = \bar{e}(l)$ la densité d'énergie dans le spectre de l'étoile,

$\sigma(\lambda) = \bar{\sigma}(l)$ la sensibilité de la plaque,

$f(\lambda)$ la distance focale du système objectif et λ_0 la longueur d'onde de mise au point,

$\tau(\lambda) = \bar{\tau}(l)$, la transparence des milieux interposés (atmosphère, prisme, objectif),

D le diamètre du système objectif; supposons celui-ci aplannétique.

Le symbole consistant à surligner l'expression d'une fonction signifie qu'on l'a exprimée en prenant l pour variable indépendante.

Supposons la plaque placée perpendiculairement à l'axe optique, celui-ci étant parcouru par un rayon moyen du spectre et la dispersion suffisamment faible pour qu'on puisse admettre que tous les rayons sont perpendiculaires à la plaque.

Nous admettrons un guidage sans élargissement.

L'énergie reçue directement par la plaque au point A, au voisinage de la longueur d'onde λ , est

$$dW = e(\lambda) \tau(\lambda) d\lambda . \quad (1)$$

Elle est répartie sur la longueur dl du spectrogramme; on a

$$d\lambda = \varphi'(l) dl . \quad (2)$$

D'autre part, la largeur géométrique du spectrogramme est, dans la région considérée,

$$b = D \left(1 - \frac{f(\lambda_0)}{f(\lambda)} \right) = \frac{D}{\psi(\lambda)} = \frac{D}{\psi(l)} . \quad (3)$$

Admettons que le défaut de mise au point n'a pas d'action longitudinale sur le spectrogramme, la densité d'énergie est

$$\frac{dW}{bdl} = \frac{e(\lambda) \tau(\lambda) d\lambda}{\frac{D}{\psi(\lambda)} \cdot \frac{d\lambda}{\varphi'(l)}} = \frac{1}{D} e(\lambda) \tau(\lambda) \varphi'(l) \psi(\lambda) . \quad (4)$$

Mais l'énergie totale reçue par le point A dépend par irradiation de tous les points voisins du spectrogramme. Admettons, faute de mieux, que l'énergie irradiée par le point A' sur le point A est proportionnelle à l'énergie reçue par A' et qu'elle ne dépend que de la distance $AA' = l - l'$. Appelons $\chi(l - l')$ le coefficient de proportionnalité.

Cette hypothèse est très critiquable sous cette forme. Il est en effet contraire au principe de conservation de l'énergie de négliger l'énergie perdue par A et irradiée dans son voisinage.

L'énergie irradiée par A' sur A est

$$e(\lambda') \tau(\lambda') \varphi'(l') \psi(\lambda') \chi(l - l') dl' , \quad (5)$$

et l'énergie totale reçue par A est

$$\int_{-\infty}^{+\infty} e(l') \tau(l') \varphi'(l') \bar{\psi}(l') \chi(l - l') dl' = \bar{\xi}(l) = \xi(\lambda) . \quad (6)$$

Le noircissement est défini par le produit

$$\sigma(\lambda) \xi(\lambda) = \bar{\sigma}(l) \bar{\xi}(l) . \quad (7)$$

La largeur de la raie peut être définie de plusieurs façons. Soit s le seuil de sensibilité de la plaque. Les abscisses des bords de la raie satisfont à l'équation

$$\bar{\sigma}(l) \bar{\xi}(l) = s . \quad (8)$$



Dans le cas particulier, nous avons visé les points où le noircissement semble varier le plus rapidement possible. Ils satisfont à la relation

$$\frac{d^2}{dl^2} \{ \bar{\sigma}(l) \bar{\xi}(l) \} = 0 . \quad (9)$$

Les équations 8 et 9 ont chacune une paire de solutions l_1 et l_2 au voisinage de chaque raie. La différence $l_1 - l_2$ est la largeur Δ .

Le problème se simplifie si l'on néglige le phénomène d'irradiation. Il suffit alors de poser

$$\chi(0) = 1 \quad \text{et} \quad \chi(l - l') = 0 \quad \text{pour} \quad l \neq l' ,$$

(6) devient alors

$$\bar{e}(l) \bar{\tau}(l) \varphi'(l) \bar{\psi}(l) = \bar{\xi}(l) ,$$

et le noircissement est défini par

$$\bar{\sigma}(l) \bar{\xi}(l) = \bar{\sigma}(l) \bar{\tau}(l) \varphi'(l) \bar{\psi}(l) \bar{e}(l) .$$

Au voisinage d'une raie, on peut alors admettre que toutes les fonctions de ce produit sont constantes, sauf la répartition de l'énergie dans le spectre, $\bar{e}(l)$.

Un microphotogramme donne $\bar{e}(l)$. Mais alors, si l'absorption de la raie ne s'étend pas très loin autour de celle-ci, la variation de $\bar{e}(l)$ représente, à un facteur près, celle de $e(\lambda)$, d'où l'intérêt du microphotogramme. L'équation (9) ne contient plus alors que la fonction $\bar{e}(l)$.

8. — La largeur relative d'une raie est très constante; il est impossible de déceler sur nos graphiques une marche de sa valeur avec l'énergie reçue, malgré le grand domaine de variation de celle-ci. Nous avons montré en effet ¹ que L varie

¹ P. ROSSIER, Photométrie spectrographique et extinction atmosphérique, *loc. cit.*

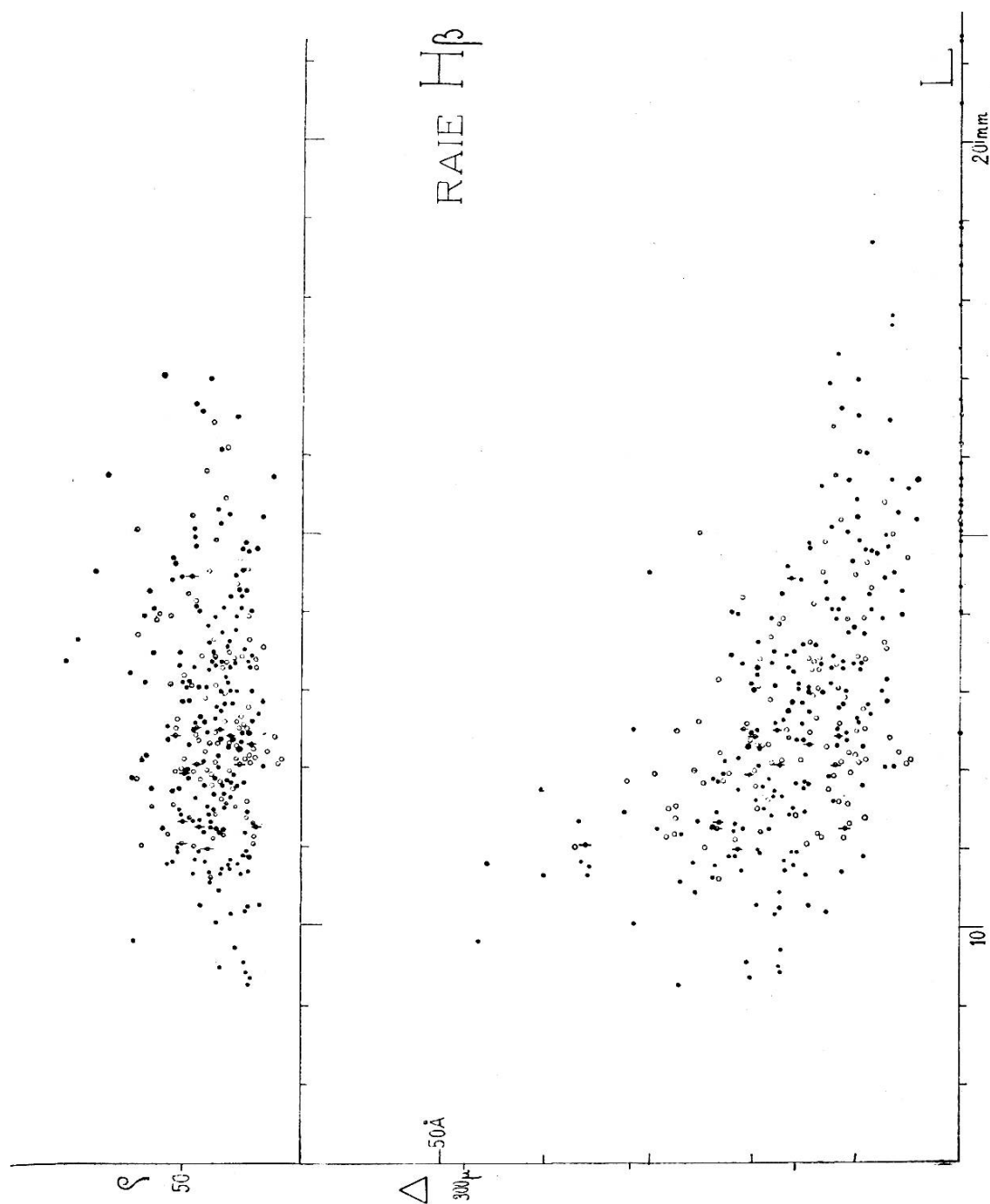


Fig. 1. — Largeurs relative ρ et absolue Δ de la raie H_{β} en fonction de la longueur L du spectrogramme.

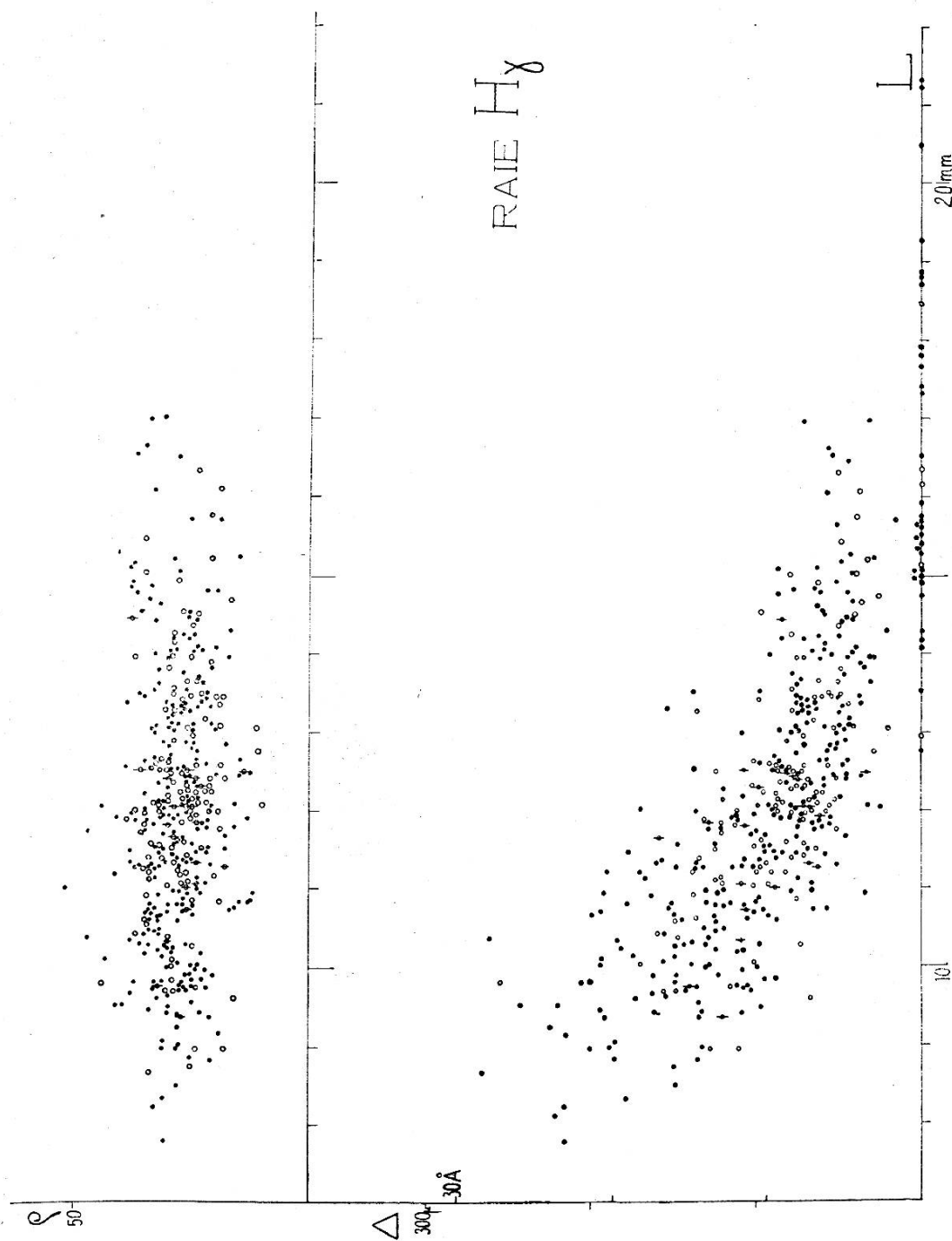


Fig. 2. — Largeurs relative ρ et absolue Δ de la raie H_γ en fonction de la longueur L du spectrogramme.

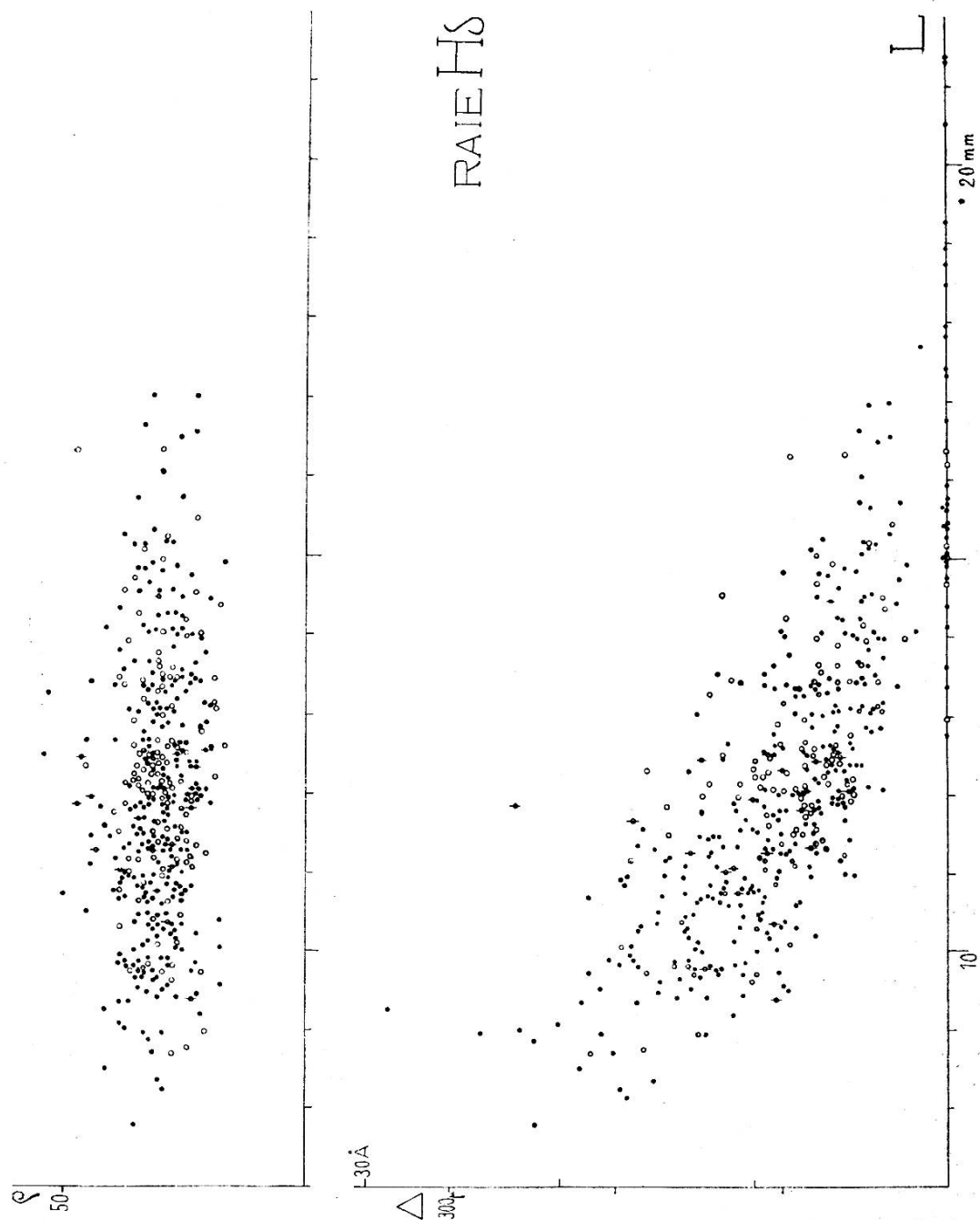


Fig. 3. — Largeurs relative ρ et absolue Δ de la raie H δ en fonction de la longueur L du spectrogramme.

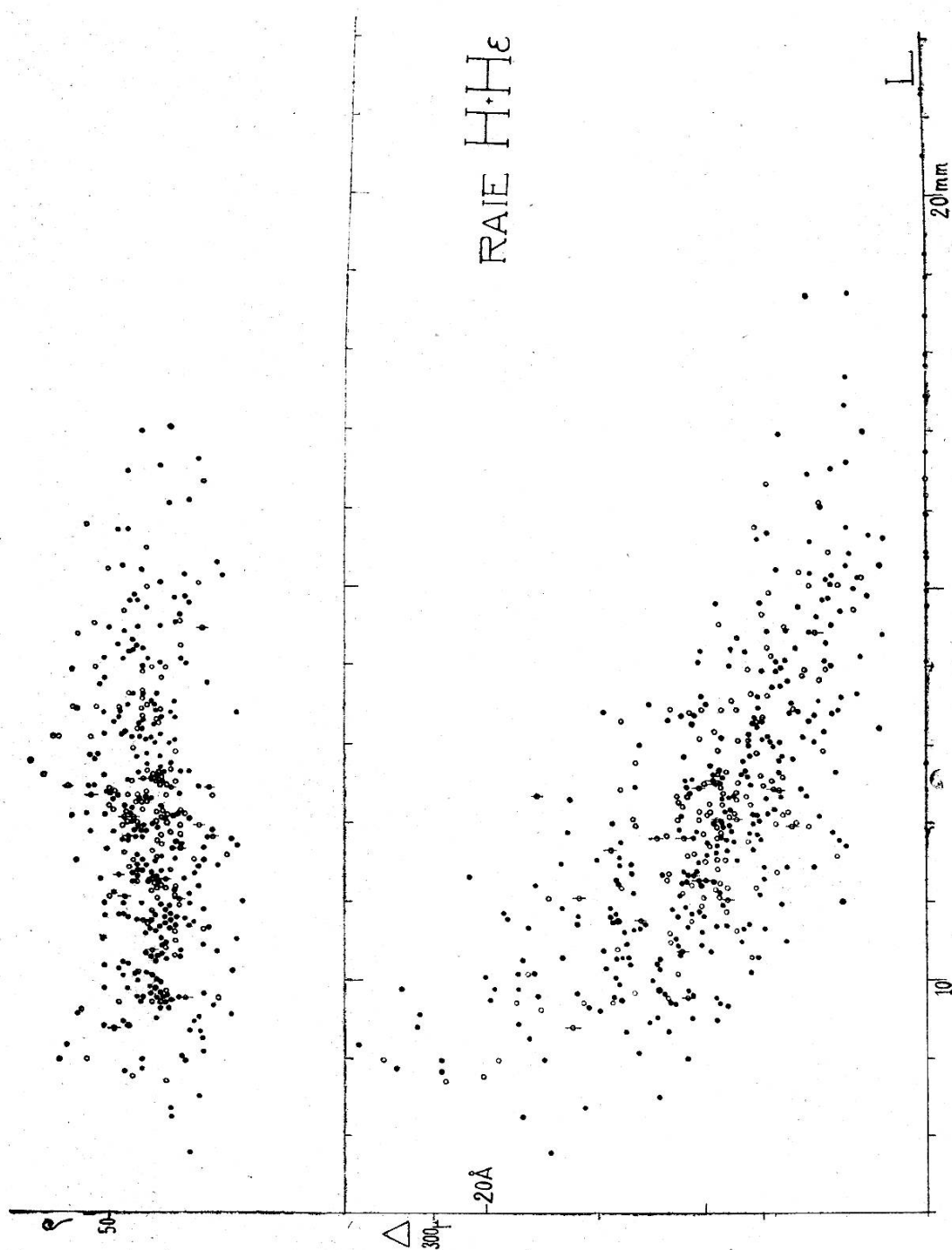


Fig. 4. — Largeurs relative ρ et absolue Δ de la raie H + H ϵ en fonction de la longueur L du spectrogramme.

proportionnellement à la magnitude de l'étoile; on a, pour notre spectrographe,

$$\frac{\Delta L}{\Delta m} = -1,70$$

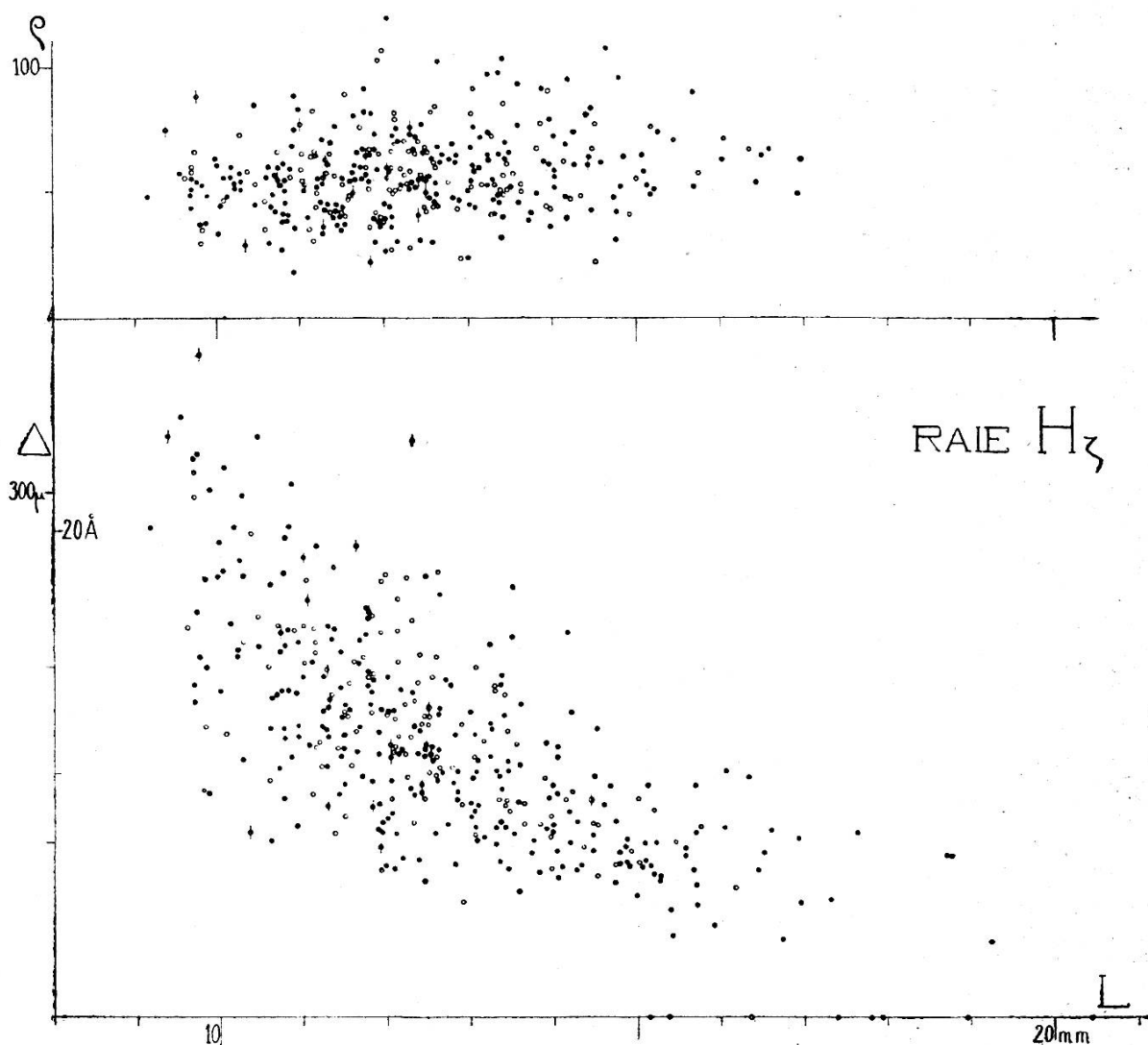


Fig. 5. — Largeurs relatives ρ et absolue Δ de la raie H_{ζ} en fonction de la longueur L du spectrogramme.

Or, sur la majorité des spectrogrammes pour lesquels ρ a pu être calculé, L varie de 9 à 16 mm, soit de 7 mm, ce qui

correspond à plus de 4 magnitudes. En considérant les valeurs extrêmes, cette variation dépasse 9 mm, soit plus de 5 magni-

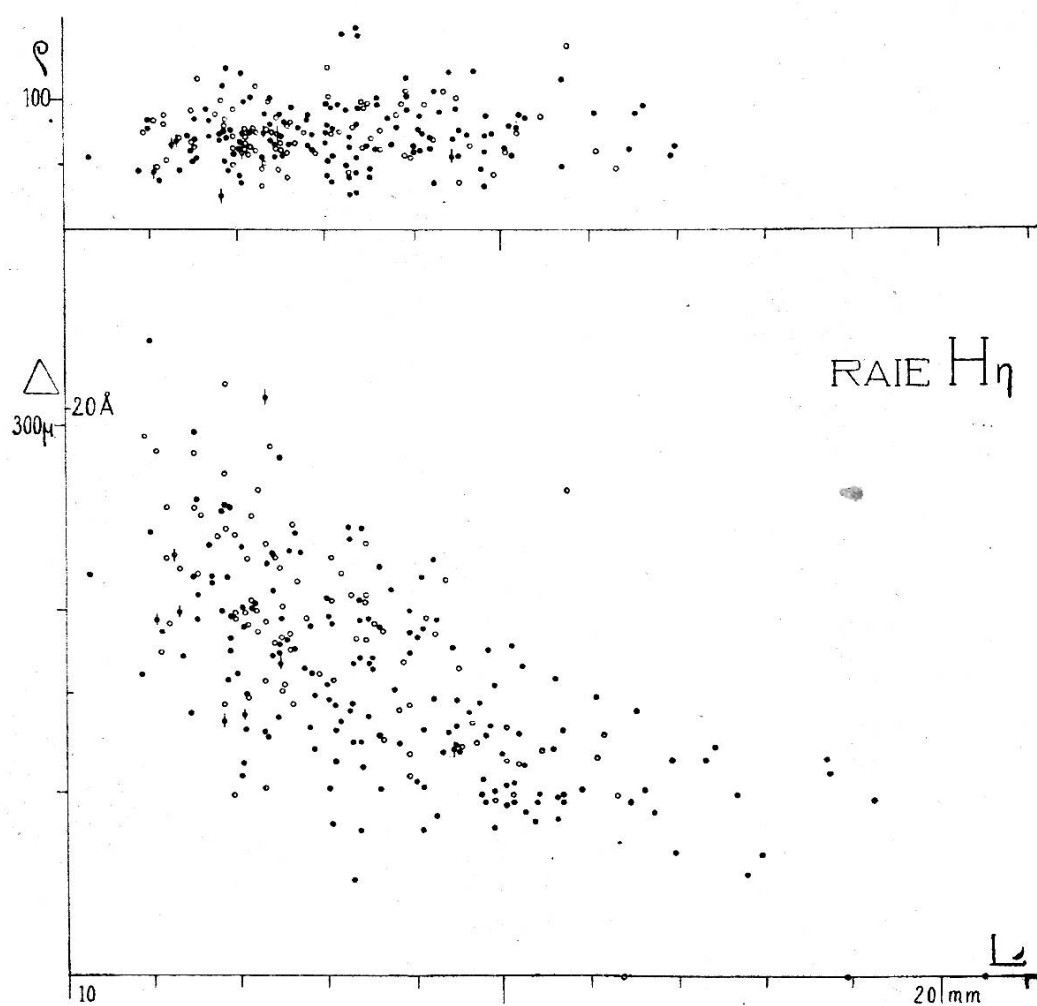


Fig. 6. — Largeurs relative ρ et absolue Δ de la raie H η en fonction de la longueur L du spectrogramme.

tudes. Nous pouvons donc affirmer qu'une variation d'énergie de 1 à 100 n'entraîne pas, pour ρ , de variation systématique comparable aux erreurs de sa détermination.

La largeur relative des raies, pour un spectrographe donné, semble donc être une fonction bien déterminée de la source.

Remarquons encore que la répartition des valeurs trouvées pour ρ suit bien la loi des erreurs accidentelles, comme le montrent les tableaux I et II.

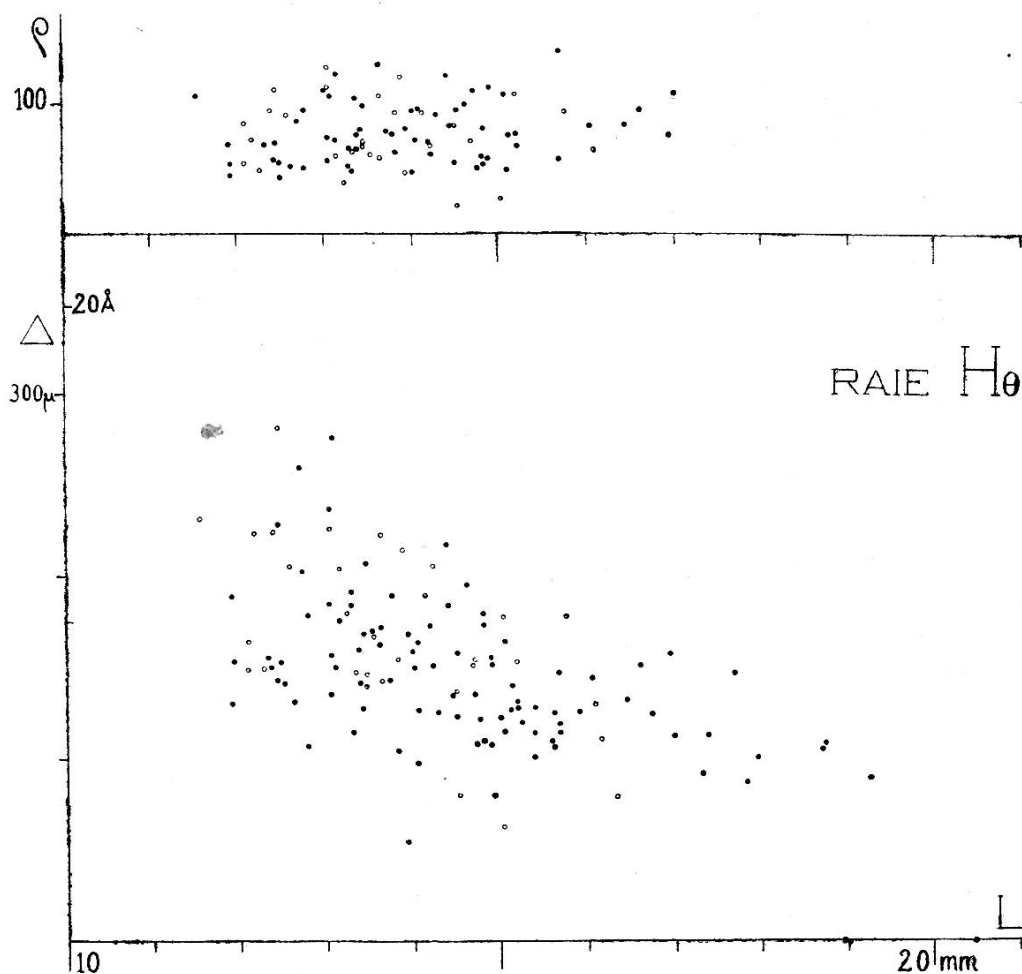


Fig. 7. — Largeurs relative ρ et absolue Δ de la raie H₀ en fonction de la longueur L du spectrogramme.

Les largeurs relatives moyennes figurent sur le tableau III. On y constate que la présence des raies K n'a pas d'influence sur la largeur relative, au moins pour les étoiles A₀ du *Henry Draper Catalogue*.

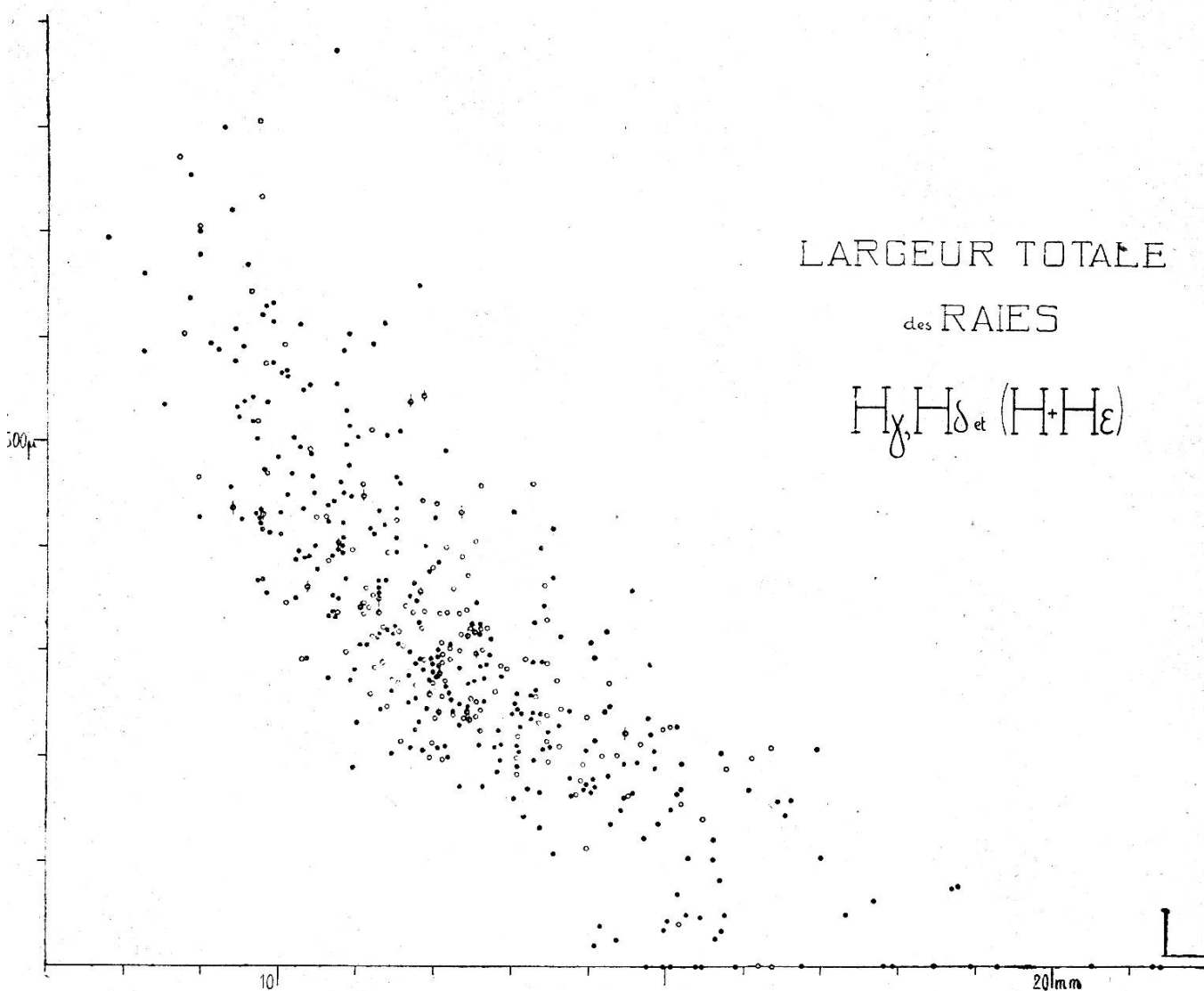


Fig. 8. — Longueur totale des raies H_{γ} , H_{δ} et $(H + H_{\epsilon})$ en fonction de la longueur L du spectrogramme.

9. — Dans les figures consacrées à la largeur absolue, remarquons que la bande qui contient les points observés a une largeur beaucoup moins variable que ne pourrait le laisser supposer la diminution très considérable de la netteté lorsqu'on passe du bleu à l'ultra-violet. Cependant plusieurs spectrogrammes donnent des largeurs relatives normales et se placent assez loin de la moyenne des largeurs absolues. L'hétérogénéité des plaques suffit-elle pour expliquer entièrement cette dispersion ? La magnitude absolue a-t-elle peut-être une influence ? Contentons-nous pour l'instant de poser la question.

TABLEAU I.

Fréquence des largeurs relatives.

ρ	H_{β}		H_{γ}		H_{δ}		$H + H_{\epsilon}$	
	Sans K	Avec K	Sans K	Avec K	Sans K	Avec K	Sans K	Avec K
5-9	—	1	—	—	—	—	—	—
10-14	1	3	3	2	—	—	—	—
15-19	6	3	14	13	4	6	1	—
20-24	24	17	48	19	39	20	7	—
25-29	24	11	85	46	69	23	9	—
30-34	29	14	82	23	93	42	31	5
35-39	27	15	29	14	48	23	67	34
40-44	17	9	6	1	9	2	81	37
45-49	17	6	2	—	5	2	44	21
50-54	13	7	1	—	3	—	23	8
55-59	5	3	—	—	—	—	7	5
60-64	4	3	—	—	—	—	—	4
65-69	4	4	—	—	—	—	—	1
70-74	3	—	—	—	—	—	—	—
≥ 75	4	—	—	—	—	—	—	—
Totaux	78	96	270	118	270	118	270	118

TABLEAU II.

Fréquence des largeurs relatives.

ρ	H_{γ}		H_{γ}		H_{θ}	
	Sans K	Avec K	Sans K	Avec K	Sans K	Avec K
10-19	2	—	—	—	—	—
20-29	3	4	2	—	—	3
30-39	21	9	5	3	—	0
40-49	45	22	9	7	4	2
50-59	54	34	16	8	12	2
60-69	44	21	25	17	8	5
70-79	22	10	26	13	12	4
80-89	8	8	17	12	7	2
90-99	8	2	14	8	7	5
100-109	3	2	6	4	5	3
110-119	1	—	3	2	3	2
120-129	—	—	4	1	2	2
≥ 130	—	—	3	1	1	—
Totaux	211	112	130	76	62	30

TABLEAU III.

Largeur relative des raies de l'hydrogène et du calcium.

Raies	K invisible		K étroite		K large	
	Valeur moyenne	Nombre de spectrogrammes étudiés	Valeur moyenne	Nombre de spectrogrammes étudiés	Valeur moyenne	Nombre de spectrogrammes étudiés
H _β	38,1	178	35,5	96	39,1	14
H _γ	28,5	270	27,1	118	26,6	22
H _δ	31,0	270	30,2	118	32,3	22
H + H _ε	40,6	270	42,7	118	40,9	22
K	—	270	0	118	18,2	19 ¹
H _ζ	57,1	211	57,0	112	53,2	22
H _η	74,7	130	73,8	76	57,9	8
H _θ	78,8	62	77,2	30	—	—

¹ Sur trois spectrogrammes, K est qualifiée « large mais non mesurable » pour des causes diverses: manque de netteté, etc.

Observatoire de Genève.