

Zeitschrift: Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft
Herausgeber: Schweizerische Astronomische Gesellschaft
Band: - (1950)
Heft: 27

Artikel: Sensitométrie photographique
Autor: Chilardi, S. / Flückiger, M.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-897005>

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: 15.01.2026

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

Sensitométrie photographique

Par S. CHILARDI et M. FLÜCKIGER, Lausanne

La sensitométrie a pour but l'étude de l'action de la lumière sur les émulsions sensibles ainsi que la mesure de cette action. La détermination de la relation qui existe entre le noircissement de l'image et la quantité de lumière reçue permet de résoudre rapidement certains problèmes qui ne pouvaient l'être auparavant faute de méthode précise. Citons à titre d'exemple l'étude de l'action des révélateurs, l'étude de la sensibilité des émulsions ou celle des procédés d'affaiblissement et de renforcement.

Désormais il n'est plus nécessaire de qualifier une image ou un révélateur de «doux, normal ou dur», termes trop peu précis et variables d'un observateur à l'autre, puisque la sensitométrie permet de remplacer ces qualificatifs par des nombres ou des graphiques.

Dans cet article nous ne nous proposons pas de faire une étude de la sensitométrie, mais de relever quelques points importants destinés plus spécialement à ceux que la photométrie photographique stellaire intéresse. Autant que possible nous avons illustré notre exposé de résultats récents obtenus au cours de nos travaux astronomiques de l'hiver passé. Afin d'améliorer la présentation des graphiques nous n'y avons pas fait figurer les points représentatifs des mesures ainsi que leurs erreurs.

Sensibilité chromatique.

La plaque photographique est un récepteur d'énergie à sensibilité sélective; autrement dit elle enregistre différemment des radiations qui n'ont pas la même longueur d'onde. Les plaques ordinaires, non chromatisées, sont sensibles à la région bleu-violette du spectre visible et présentent généralement un seul maximum de sensibilité. Par exemple l'émulsion Cappelli non orthochromatique possède un maximum vers $0,470 \mu$. Signalons que l'Observatoire de Genève a trouvé des émulsions Cappelli avec un maximum secondaire dans le vert, $\lambda = 0,540 \mu$. Les plaques Superfulgur Guillemot présentent un maximum vers $0,450 \mu$.

Les développements de la chimie photographique ont mis au point des colorants qui rendent l'émulsion sensible au jaune-vert; les plaques ainsi sensibilisées sont désignées sous le nom d'orthochromatiques. Enfin d'autres colorants permettent de sensibiliser les émulsions pour tout le spectre visible (émulsions panchromatiques). On peut aussi par des moyens analogues obtenir des couches sensibles à l'infra-rouge ou à l'ultra-violet.

Les procédés de fabrication étant variables, le nom de l'émulsion ne suffit pas à lui seul pour fixer la sensibilité chromatique. Il faut posséder le spectrogramme de l'émulsion, obtenu par l'enregistrement d'un spectre continu à travers un coin absorbant neutre. Ces spectrogrammes, indiqués généralement dans les catalogues de matériel sensible, permettent de se rendre compte de la

sensibilité *apparente* de l'émulsion; sensibilité apparente car les spectrogrammes tiennent compte en même temps des propriétés de l'émulsion, du spectrographe, du coin neutre et de la source employés. Pour obtenir la courbe de sensibilité de l'émulsion seule, il faudrait apporter au spectrogramme une correction $F(\lambda)$ fonction de la longueur d'onde qui dépende précisément du spectrographe et de la source. Comme on cherche en général à connaître la différence de sensibilité de deux émulsions dans un domaine spectral déterminé, l'inspection des spectrogrammes renseigne suffisamment à ce sujet.

Rapidité-sensibilité.

On parle souvent de la «sensibilité» ou de la «rapidité» d'une émulsion. Cette notion courante devrait permettre de trouver le temps de pose optimum pour obtenir une image dont le rendu soit correct. Quel que soit le procédé employé pour mesurer la rapidité d'une émulsion, cette indication n'a que peu de valeur pour l'astronome, car les conditions dans lesquelles se mesure la rapidité, se rapprochent beaucoup plus de celles de la photographie courante que de celles de la photographie astronomique. Afin de pouvoir quand même comparer deux émulsions astronomiques, il est préférable de déterminer les magnitudes limites atteintes en un temps de pose donné. Bien entendu ces indications dépendent de la transparence et de l'humidité de l'air et se rapportent à l'instrument et au révélateur employés.

Avec notre astrographe de 10 cm d'ouverture nous avons atteint en 10 mn. la 11^{ème} magnitude sur plaques Cappelli 9583 et la 13^{ème} avec les plaques Superfulgur 61123. Il est alors légitime de dire que dans ces conditions-là, la plaque Superfulgur est plus rapide que la plaque Cappelli, en ce sens qu'elle permet d'atteindre des étoiles plus faibles avec le même temps de pose.

Lumination — Loi de réciprocité.

Dans les opérations photographiques l'émulsion est soumise à un certain éclairement E pendant un temps t . La quantité de lumière reçue Et portait auparavant le nom d'*éclairage*, mais l'emploi courant de ce dernier vocable le fit remplacer par celui de *lumination* L . La lumination est ainsi le produit de l'éclairement par la durée de pose. L'expérience montre que deux luminations identiques obtenues, l'une avec un fort éclairement, l'autre avec une grande durée de pose, ne produisent pas le même noircissement de l'émulsion. La loi de réciprocité de Bunsen et Roscoe, implicite dans la définition de la lumination, ne s'applique que dans d'étroites limites. Afin de corriger ce défaut de la loi de réciprocité, Schwarzschild, après de nombreux essais astronomiques, proposa de remplacer l'expression Et par Et^p dans laquelle p est l'exposant de Schwarzschild. Cet exposant prend une valeur moyenne de 0,9, mais il n'est pas constant. Dans ce qui suivra nous entendrons toujours par lumination le produit Et . Le fait que la

plaque photographique ne satisfait pas à la loi de réciprocité se résume souvent en disant que la plaque n'intègre pas les luminations.

Loi du noircissement — Courbe caractéristique.

En appelant φ_i le flux incident sur la plaque, φ_p le flux transmis par une zone noircie et φ_o le flux transmis par la plaque non impressionnée, nous avons par définition:

$$\begin{aligned} \text{transparence de la plage:} & \quad T_p = \varphi_p / \varphi_i \\ \text{opacité de la plage:} & \quad O_p = 1/T_p = \varphi_i / \varphi_p \\ \text{densité de la plage:} & \quad d_p = \log_{10} O_p = \text{colog } T_p. \end{aligned}$$

Si nous rapportons ces différentes grandeurs, non plus au flux incident mais au flux transmis par la plaque vierge, nous obtenons la transparence, l'opacité et la densité de l'argent réduit:

$$\begin{aligned} \text{transparence de l'argent réduit:} & \quad T' = \varphi_p / \varphi_o \\ \text{opacité de l'argent réduit:} & \quad O' = \varphi_o / \varphi_p \\ \text{densité de l'argent réduit:} & \quad d' = \log \varphi_o / \varphi_p \end{aligned}$$

et nous avons toujours en désignant par d_o la densité de la plaque non impressionnée ($d_o = \log \varphi_i / \varphi_o$):

$$d' = d_p - d_o.$$

La densité, nombre variant de zéro à l'infini, est caractéristique du noircissement de l'image photographique. Elle dépend principalement de la lumination, mais aussi d'une quantité de facteurs dérivant de la nature de l'émulsion et des différents traitements que celle-ci a subis jusqu'à l'apparition de l'image. La loi de variation de la densité en fonction de la lumination, ou mieux du logarithme décimal de la lumination, plus connue sous le nom de loi du noircissement, est difficilement exprimable sous forme mathématique. Sa représentation graphique, par contre, est plus facile à obtenir et porte le nom de *courbe caractéristique de la plaque*.

Cette courbe caractéristique présente en général une forme en S avec une partie rectiligne plus ou moins longue. C'est la courbe classique, la plus souvent étudiée dans les manuels de sensitométrie, telle que l'avaient indiquée Hurter et Driffeld (fig. 1a). La partie inférieure, incurvée vers le haut, est la zone de sous-exposition, et la partie supérieure, incurvée vers le bas, la zone de sur-exposition. La partie rectiligne, qui est la partie la plus importante de la courbe, correspond à la zone de pose correcte et sa pente est le facteur de contraste γ qui, comme nous le verrons par la suite, joue un rôle essentiel en photométrie. Ce type de courbe a toujours été pris comme modèle de courbe caractéristique. Il faut mentionner, cependant, que quelques émulsions modernes dites «ultra sensibles» et à «grande latitude de pose», généralement obtenues en superposant une émulsion rapide à une émulsion lente, donnent des courbes qui ne présentent pas de partie rectiligne ou qui, au contraire, présentent plusieurs parties rectilignes de pentes différentes. On désigne ce matériel sous le nom d'émulsions anorthophotiques (fig. 1 b, c, d).

Formes de la courbe caractéristique

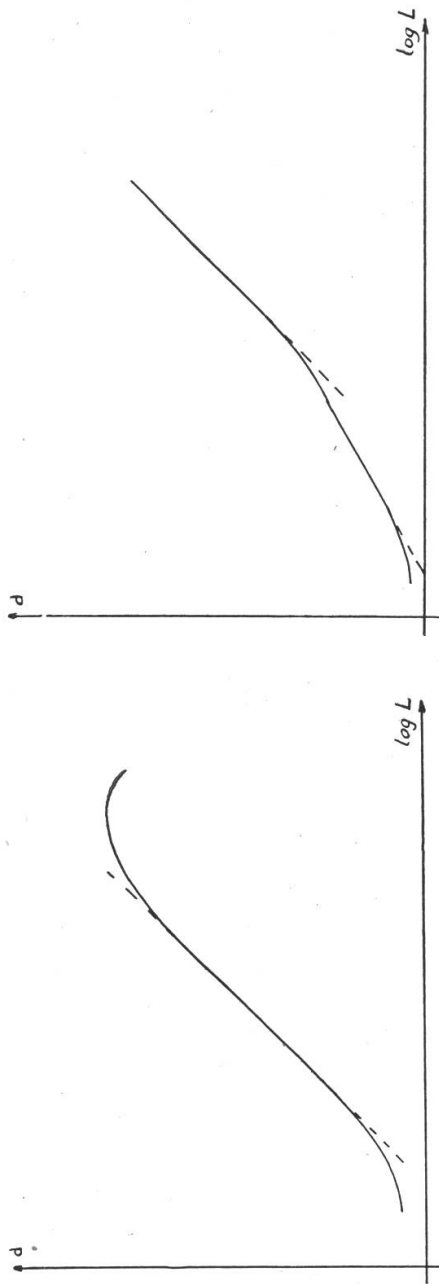


Fig. 1a.
Courbe classique: 1 partie rectiligne

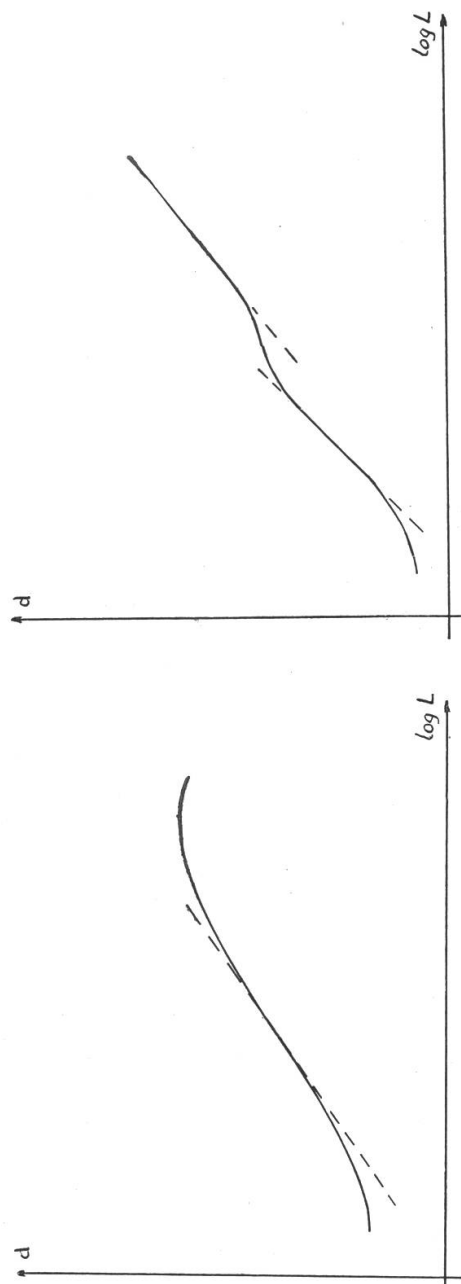


Fig. 1c.
Emulsion anorthophotique sans partie rectiligne

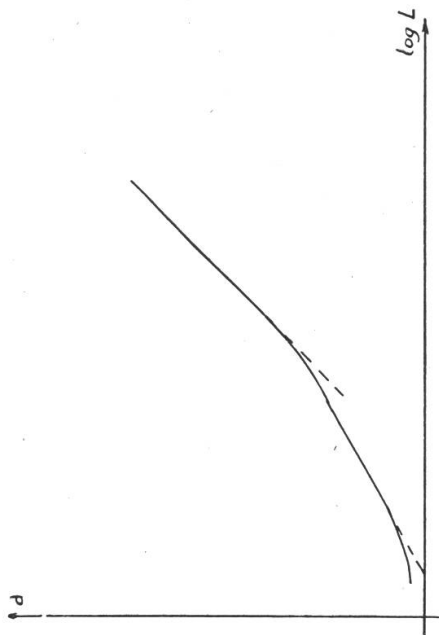


Fig. 1b.
Emulsion anorthophotique à deux régions rectilignes

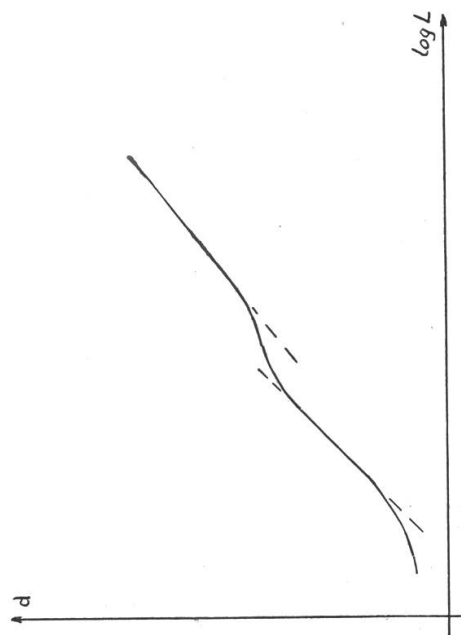


Fig. 1d.
Emulsion anorthophotique à pentes décroissantes

La loi de réciprocité ne s'appliquant pas — cette supposition est légitime puisque nous nous plaçons dans des conditions astronomiques —, il ne sera pas équivalent de faire varier ou le temps de pose ou l'éclairement, et nous aurons sur le graphique représentatif de $d = f(\log Et)$ deux courbes, l'une pour E variable, l'autre pour t variable auxquelles correspondent des facteurs de contraste γ et γ' . Ces facteurs sont liés par la relation facilement démontrable:

$$\gamma' = p\gamma$$

Il en résulte que ces deux courbes, parallèles pour $p = 1$, forment un angle d'autant plus grand que l'écart avec la loi de réciprocité est plus grand.

La courbe présentant une partie rectiligne, pour l'intervalle de luminations correspondant, la densité et le logarithme de la lumination varient proportionnellement:

$$\Delta d = \gamma \Delta \log L$$

et comme $\Delta \log L$ est proportionnel à la variation de magnitude (loi de Pogson: $\Delta \log L = 0,4 \Delta m$), nous avons:

$$\Delta d = 0,4 \gamma \Delta m.$$

Pour l'intervalle de luminations correspondant à la partie rectiligne la densité varie proportionnellement à la magnitude, et le coefficient de proportionnalité contient le facteur de contraste γ . Ceci démontre le rôle considérable que joue le facteur gamma; c'est lui qui est souvent déterminant pour le choix d'une émulsion, une couche sensible à grand contraste permettant de différencier de faibles détails ou de faibles variations de magnitude.

Quant aux émulsions anorthophotiques il n'est plus possible de parler de facteur de contraste. Le gamma est alors la pente de la tangente à la courbe en un point déterminé et il est nécessaire de dresser la courbe de variation de gamma. On peut alors admettre que pour des intervalles de luminations très courts la densité varie proportionnellement à la magnitude, en assimilant ainsi localement la courbe caractéristique à sa tangente. Si ces émulsions trouvent des emplois intéressants en photographie artistique ou industrielle, elles présentent certaines difficultés quant à leur utilisation en photométrie photographique stellaire.

Bien que les courbes caractéristiques ne puissent en aucune façon remplacer un étalonnement sur le ciel, elles sont cependant utiles pour un contrôle rapide des propriétés de l'émulsion ou une comparaison de deux couches sensibles. Pour que les résultats aient quelque utilité, il faut que les conditions opératoires soient sensiblement les mêmes que celles de l'astronomie, soit l'utilisation d'une source peu lumineuse et de grandes durées de pose. Il n'est pas possible d'avoir des sources dont la répartition de l'énergie dans le spectre soit analogue à celle des sources stellaires, mais l'emploi d'une lampe à incandescence associée à un filtre photométrique permet, sinon d'atteindre, du moins de se rapprocher un peu des conditions astronomiques. On trouve de tels filtres dans le commerce, par exemple les filtres Wratten de la série 86.

Nous donnons à titre d'exemple les courbes caractéristiques de l'émulsion Cappelli non-orthochromatique, à temps de pose variable et à éclairissement variable. Ces courbes ont été obtenues en impressionnant, en lumière diffuse faible, deux séries de 20 plages circulaires sur une demi-plaque 9×12 en faisant varier le temps de pose de 1 à 1024 secondes, puis en copiant avec la même source

cette échelle de teintes sur l'autre demi-plaque. Après développement et séchage dans des conditions identiques à celles que nous imposons aux clichés astronomiques, nous avons mesuré les densités au moyen d'un densitomètre Weston. La partie rectiligne de la courbe à éclaircissement variable correspond à peu près à un intervalle de 3 magnitudes, résultat qui fut confirmé par la suite lors de la mesure de clichés photométriques pris sur le ciel (fig. 2).

Nous avons d'autre part copié dans des conditions identiques cette échelle de teintes sur d'autres émulsions. Nous donnons les

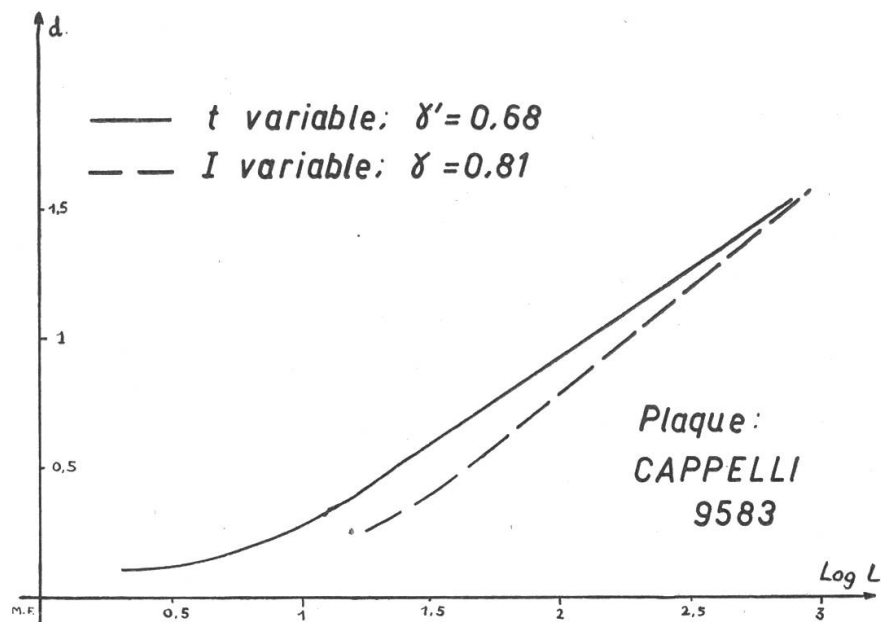


Fig. 2 Courbes de noircissement $d = f(\log L)$

courbes obtenues avec les plaques Superfulgur Guillemot. Noter l'incurvation légère et la différence de sensibilité entre deux émulsions dont le numéro de fabrication est différent (fig. 3). La fig. 4 donne les courbes de quelques émulsions courantes.

Comparaison d'émulsions. Courbes caractéristiques E variable

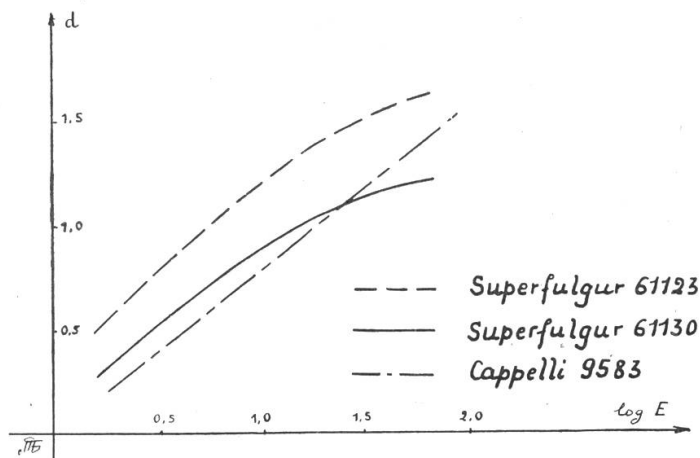


Fig. 3

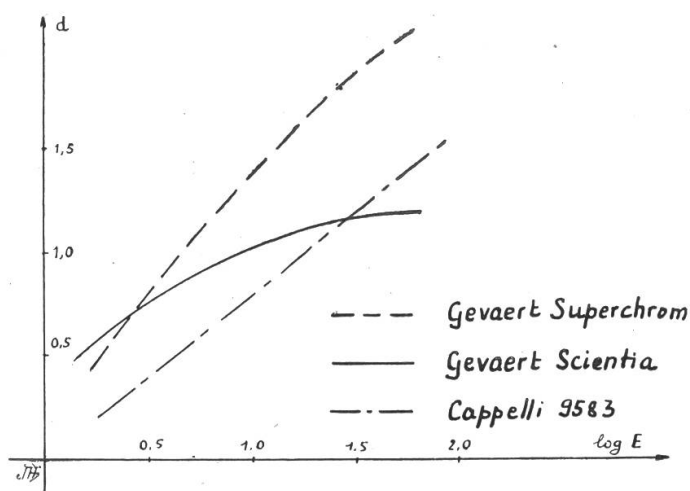


Fig. 4

Développement:

a) variation du facteur de contraste.

Le facteur de contraste γ qui, comme nous venons de le voir, entre dans le coefficient de proportionnalité entre la magnitude et la densité varie avec la durée du développement. Il augmente quand le développement se poursuit et tend vers une limite, le gamma infini ($\gamma \infty$), correspondant à un développement d'une durée infinie. Mees et Sheppard ont proposé la relation suivante entre la durée t du développement et le facteur gamma:

$$\gamma = \gamma \infty (1 - e^{-kt})$$

où k est une constante, de même que $\gamma \infty$.

Pratiquement il n'est pas possible de prolonger le séjour dans le révélateur, car à partir d'un certain moment tous les grains de bromure d'argent sont à l'état développable et les images sont noyées dans le voile chimique.

Une petite construction graphique*) permet de trouver le gamma-infini d'une émulsion à partir de deux valeurs du gamma correspondant à deux durées de développement dont l'une est double de l'autre. Dans ce cas le $\gamma \infty$ est donné par la relation:

$$\gamma \infty = \frac{\gamma_1^2}{2\gamma_1 - \gamma_2}$$

et la construction graphique est la suivante: sur le côté BA d'un angle droit portons une longueur unité et sur l'autre les segments BC et BD correspondants à γ_1 et γ_2 . Par D une parallèle à BA coupe AC en d. Reportons Dd en Cc sur la parallèle passant par C. La droite Ac coupe BC en E et la longueur BE donne le gamma-infini dans l'unité choisie (fig. 5).

* L. P. Clerc: Technique photographique, p. 435, éd. 1947.

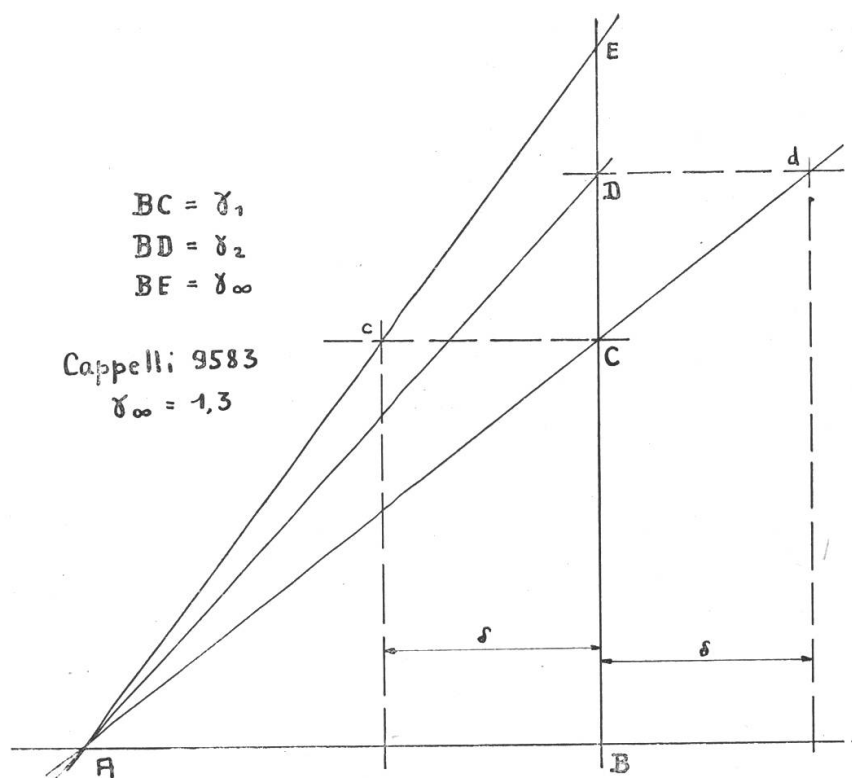


Fig. 5 Recherche graphique du γ_{∞}

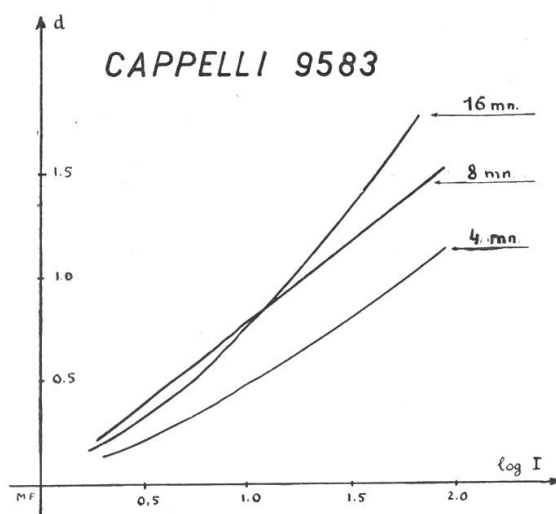


Fig. 6 Variation du contraste avec le développement

Pour l'émulsion Cappelli, déjà citée, nous avons déterminé les courbes caractéristiques pour les 3 durées de développement suivantes: 4 mn, 8 mn et 16 mn (fig. 6). Nous constatons alors, qu'en plus de l'augmentation du contraste, la forme de la courbe caractéristique se modifie. Elle est pratiquement rectiligne pour un développement de 8 mn alors que pour un développement plus court ou plus long, elle s'incurve vers le haut et présente les caractéristiques de la sous-exposition. Pour cette raison nous avons adopté la durée de 8 mn.

Voici la composition du révélateur que nous utilisons pour le développement des clichés photométriques et sensitogrammes:

Solution A:	Eau q. s.	500 cc
	Métol	2 gr
	Hydroquinone	4 gr
	Sulfite de soude anhydre	40 gr
	Bromure de potassium	1 gr
Solution B:	Eau q. s.	500 cc
	Carbonate de soude anhydre	30 gr

Pour l'emploi prendre 1 partie A + 1 partie B + 2 parties eau.
Température du bain: 20 ° C.

b) influence du bromure.

La composition chimique du révélateur, les conditions dans lesquelles s'opère le développement, l'importance de sa durée ont une grande influence sur le noircissement de l'image photographique.

Il est bien connu que les différentes formules proposées pour les révélateurs conduisent à un résultat dit «doux, normal, dur» suivant que le facteur de contraste est inférieur, égal ou supérieur à 1. Le choix du révélateur qui convient le mieux à l'émulsion utilisée et à la durée de développement est fixé expérimentalement après quelques essais. Si l'on porte son choix sur un révélateur métolhydroquinone, on décidera de la quantité de bromure qui doit entrer dans sa composition en tenant compte des influences suivantes:

L'adjonction de bromure ralentit le développement en empêchant l'apparition des parties sous-exposées, il diminue la sensibilité de l'émulsion (recul du seuil) et par conséquent augmente le contraste de l'image.

Pour la photométrie focale et la photographie stellaire en général, où la meilleure définition des contours des images est recherchée, on choisira un révélateur M. H. concentré et bromuré qui produira ainsi des images dures et contrastées.

Dans le cas de la photométrie extrafocale, on recherchera le gamma qui donne une courbe caractéristique avec une partie rectiligne aussi longue que possible. La quantité de bromure à ajouter au révélateur M. H. est très faible, de 0,15 à 1 gr par litre, quantité juste suffisante pour retarder l'apparition du voile chimique.

c) influence de l'agitation.

Au cours du développement l'action du révélateur doit être aussi homogène que possible, ceci pour éviter des irrégularités ou zones sur l'image. De nombreux auteurs recommandent le balancement irrégulier de la cuvette pendant la durée de développement, pour assurer l'évacuation des produits usés. Ce procédé est peu efficace car il peut causer la formation d'ondes stationnaires, et on lui préfère soit le développement au pinceau plat que l'on

promène régulièrement sur la surface de l'émulsion (W. Clark 1925) soit un rouleau garni de velours (O. Bloch 1921).

Une étude approfondie de l'influence de l'agitation du bain sur la qualité des images a été faite par J. Crabtree qui mit au point un système spécial d'agitation. Il consiste brièvement en une sorte de raclette de caoutchouc à faces inférieures coplanaires, passée régulièrement à 1 mm de la couche sensible. D'après F. E. Ross ⁵⁾ qui fit une étude comparative de toutes ces méthodes, ce sont les plaques impressionnées, développées dans un bain au repos qui ont produit les noircissements les plus homogènes. Partant de l'idée qu'une agitation irrégulière et incontrôlable du bain risquait d'introduire des inégalités de développement imprévisibles (vitesse de diffusion irrégulière du révélateur dans la couche gélatinée), nous avons fait nôtres les conclusions de F. E. Ross en développant tous nos clichés sans agitation du bain.

Rappelons qu'un révélateur toujours frais est de rigueur pour le traitement des clichés destinés à des mesures photométriques et plus spécialement à des mesures de densités optiques.

Voile.

Le voile ne peut être évité. Il joue un rôle important puisque c'est lui qui sert de zéro pour la mesure des densités et qu'il limite ainsi au microphotomètre l'intervalle Δd mesurable. Sous la dénomination de voile nous entendons le noircissement continu du fond de la plaque dû en grande partie:

1. à des grains de bromure d'Ag spontanément développables (voile chimique),
2. à l'action de certains constituants du révélateur (voile de développement),
3. à l'action de l'oxygène de l'air sur le révélateur imprégnant la couche sensible (voile d'oxydation aérienne),
4. à des lumières parasites (fond du ciel, etc.).

C'est cette dernière cause de voile qui limite en photographie stellaire les durées de poses. Ainsi, sur l'émulsion Cappelli déjà citée, deux poses juxtaposées de 10 mn par ciel clair sans Lune ont donné un voile de densité 0,4, ce qui se traduit par une déflexion moyenne de 60 mm sur les 100 que comportait la déviation maximum du galvanomètre. A ce point de vue-là les plaques Superfulgur Guillemot ont présenté un voile beaucoup plus intense pour la même durée de pose et mêmes conditions atmosphériques, ce qui nous empêcha de les mesurer avec précision dans l'état actuel des installations mises à notre disposition.

Une autre cause de voile est le vieillissement de la plaque, qu'il est facile d'éviter en travaillant avec des émulsions de fabrication récente.

Séchage.

Cette question a aussi son importance, car les conditions dans lesquelles s'opère le séchage ont une influence non négligeable sur la *densité finale* du cliché. N'oublions pas que la normalisation des conditions de développement est illusoire si le séchage n'est pas normalisé aussi sévèrement.

* * *

Les quelques remarques précédentes montrent bien que les clichés destinés à des mesures photométriques doivent être traités spécialement suivant un mode opératoire strict et contrôlé. La densité finale dépend d'un nombre tel de facteurs qu'il faut uniformiser au maximum les traitements afin d'exclure toute erreur systématique. Il n'en reste pas moins que, malgré toutes les précautions prises, la plaque photographique ne peut être considérée comme un milieu homogène. Nous avons constaté en effet, que des demi-plaques Superfulgur 9×12 , employées pour le contrôle de l'émulsion, présentaient un voile dont la densité variait de 0,25 à 0,40 d'un bord à l'autre du cliché. Que penser alors des densités des images stellaires enregistrées sur cette plaque? Pourrait-on encore croire à une relation simple entre la densité et la magnitude? Comment appliquer la correction du voile aux magnitudes provisoires, etc.?

Dans de telles conditions, pour un travail de photométrie stellaire, seul un grand nombre de clichés pris avec soin et mesurés plusieurs fois par divers observateurs, permet d'obtenir des magnitudes moyennes dont l'erreur probable n'est pas trop grande. C'est ainsi qu'il est logique de procéder quand on se propose d'étudier une séquence photométrique. Quant aux étoiles variables, dont deux poses ne sont pas identiques en raison de la variabilité de l'astre, il faudra choisir des étoiles de comparaison aussi proches que possible de la variable pour que l'on puisse pour cette aire-là, postuler une certaine homogénéité de l'émulsion.

BIBLIOGRAPHIE

1. L. P. Clerc: *Technique photographique*, Paul Montel, Paris 1947.
2. P. Glafkidès: *Chimie photographique*, Paul Montel, Paris 1949.
3. P. Lobel et M. Dubois: *Manuel de Sensitométrie*, Paul Montel, Paris 1946.
4. S. Arend: *Le matériel photographique et son emploi pour l'observation des astéroïdes et comètes*, Bulletin Ciel et Terre No. 4, avril 1940.
5. F. E. Ross: *Photographic photometry*, Astrophysical Journal 84/3, Chicago 1936.
6. A. Grosrey: *La largeur des spectres stellaires en fonction de la magnitude et du temps de pose*, Thèse No. 959, Université de Genève, 1936.
7. P. Rossier: *Le problème de l'index de couleur*, Thèse No. 876, Université de Genève, 1930.
8. H. Grouiller: *Sensitométrie spectrale et photométrie photographique*, Thèse No. 144, Université de Lyon, 1939.
9. Monographies Kodak: *Photographic plates for use in spectroscopy and astronomy*, 1946; *Wratten light filters*, 1945; *Material for spectrum analysis*, 1945.