

**Zeitschrift:** Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft  
**Herausgeber:** Schweizerische Astronomische Gesellschaft  
**Band:** 53 (1995)  
**Heft:** 270

**Artikel:** Daniel Chalonge : une œuvre essentielle pour comprendre les propriétés des systèmes photométriques  
**Autor:** Golay, M.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-898754>

### **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:** 02.02.2025

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



# Daniel Chalonge

## Une oeuvre essentielle pour comprendre les propriétés des systèmes photométriques<sup>1</sup>

M. GOLAY

Une collection de huit livres, réunis sous le nom *Monograph Series on Non-thermal Phenomena in Stellar Atmospheres*, vient de s'achever avec la publication du dernier volume *Variables cataclysmiques et objets associés*, 14 ans après l'édition du premier volume. Cette oeuvre internationale, publiée conjointement par la NASA et le CNRS, est dédiée à la mémoire de deux astrophysiciens qui ont joué un rôle déterminant dans la réorientation de la théorie des atmosphères stellaires durant les années 1950-1960. Ces deux astrophysiciens sont CECILIA PAYNE-GAPOSHKIN de l'Université de Harvard et DANIEL CHALONGE, Astronome Titulaire de l'Observatoire de Paris. Le texte de la dédicace consacrée à Chalonge dit :

« Daniel Chalonge chercha, par d'ingénieuses et méticuleuses observations, à quantifier les indicateurs qualitatifs de la classification stellaire classique, établissant ainsi que la taxonomie stellaire à deux dimensions n'était pas adaptée à la réalité. De plus, Daniel Chalonge s'opposa toujours à l'esprit d'une remarque d'un distingué théoricien disant: « Ne me montrez pas vos nouvelles observations, elles limitent le champ de mes spéculations » ».

La dédicace en anglais a une forme beaucoup plus incisive, plus courte et percutante, que je n'ai pas pu rendre en français; elle résume ce que je vais développer dans les lignes qui suivent.

C'est cependant un célèbre théoricien (qui n'est pas l'auteur de la boutade citée ci-dessus), S. CHANDRASEKHAR, qui, à Erice (Sicile), en 1991, en ouvrant le 1<sup>er</sup> cours *Current Topics in Astrophysical Physics*, présenta le mieux l'oeuvre de Chalonge et justifia ainsi pourquoi ce cours lui avait été dédié ainsi qu'un musée à Erice « city of sciences »; musée qui retrace et présente la vie, l'oeuvre scientifique et les instruments réalisés par Chalonge et ses collaborateurs.

### CHALONGE, la Suisse et l'Observatoire de Genève

J'ai fait allusion aux années 1950-1960, années extrêmement riches en événements scientifiques grâce, d'une part aux nouvelles technologies développées durant la dernière guerre et à l'accroissement des moyens financiers mis à disposition de l'astronomie, et d'autre part à la pleine maturité intellectuelle de grandes personnalités scientifiques. Chacune a marqué de façon décisive un domaine défini de l'astronomie. Chalonge était de ce groupe restreint et son influence, discrète, a été importante. Ces années 1950-1960 ont marqué profondément l'astronomie suisse et ceci est le résultat du rayonnement de la personnalité de Chalonge. En effet, nous étions (aujourd'hui auteurs des articles consacrés à Chalonge dans ces deux derniers numéros d'ORION) plusieurs jeunes scientifiques, passionnés pour l'astronomie et pratiquement sans avenir possible dans notre pays, pratiquement aussi sans instrument utilisable et peu d'espoir d'en avoir dans les prochaines années. En plus, nous étions souvent déjà engagés

dans des activités de routine. Comment chacun de nous, sans se connaître les uns et les autres, sommes-nous entrés en contact avec Chalonge ? De plus ceci exactement au moment où les résultats de ses recherches au cours des 20 dernières années allaient prendre une importance internationale. Autre coïncidence intéressante, son instrumentation était parfaitement adaptée à l'échelle de ce que nous pouvions envisager d'utiliser en Suisse à cette époque. Sur le plan personnel, Chalonge comptait sur notre bonne volonté et sur le respect strict de ses procédures d'observation et de réduction qu'il savait nous imposer gentiment et fermement. Coïncidence toujours, ses travaux le conduisaient à avoir son télescope à la plus haute altitude possible et nous avions en Suisse le Jungfraujoch, site accessible toute l'année avec le train. Enfin Chalonge accueillait toujours avec bienveillance les jeunes et les initiait avec patience aux exigences de la spectrophotométrie. Pour nous, chance suprême, il aimait la Suisse et son massif alpin. Par lui nous avions le contact avec le monde entier et il nous introduisait auprès des astronomes étrangers et de leurs grands observatoires. Grâce à lui nous avons découvert le monde vivant et actif de l'Institut d'Astrophysique de Paris (IAP) et de l'Observatoire de Haute-Provence (OHP).

Dans les lignes qui suivent je vais essayer de montrer l'influence de Chalonge sur l'histoire récente de l'Observatoire de Genève et l'influence de ses travaux sur l'interprétation des photométries stellaires à plusieurs couleurs.

Auparavant, j'ai essayé de retrouver dans ma mémoire les circonstances de ma première rencontre avec Chalonge. Impossible de situer cet événement tant le personnage appartient naturellement à ma formation d'astronome. Il est très probable que cette première rencontre se situe durant le colloque organisé par l'Institut d'Astrophysique de Paris du 29 juin au 4 juillet 1953. Ce colloque a donné lieu à une publication d'une importance considérable dont le titre *Principes fondamentaux de classification stellaire* exprimait bien qu'il était temps de comprendre tous les aspects que recouvre la notion de classe spectrale d'une étoile. Au cours de ce colloque j'ai rencontré tous ceux qui, à un moment ou un autre, ont influé sur le cours de mes travaux. D. CHALONGE d'abord, D. BARBIER, E. SCHATZMAN, J.C. PECKER, A. DANJON, W. MORGAN, A. LALLEMAND, V. KOURGANOFF, P. PARENAGO, et d'autres aussi (Fig 1). Ce colloque, sur le plan politique, était l'un des premiers où des astronomes soviétiques (non-membres du parti communiste) pouvaient, avec une relative liberté, présenter l'état de leurs recherches. Quelques extraits de la table des matières des actes de ce colloque me permettent de montrer combien ces années 1950 sont des années charnières dans l'histoire de l'astronomie moderne :

- La classification spectrale de 2 populations stellaires, par W.W. MORGAN.
- La classification des étoiles et les problèmes de structure de la galaxie (écrite avec un g minuscule à cette époque), par P.P. PARENAGO.

<sup>1</sup> Cf. articles dans ORION 269, pages 202 - 207



Fig 1: D. CHALONGE parmi les participants au colloque historique organisé par le Vatican en 1958 sur les populations stellaires. Presque tous les fondateurs de l'astrophysique moderne sont là. Le rang derrière Chalonge, nous avons SALPETER, STRÖMGREN, SPITZER, HOYLE (2<sup>e</sup> rang au centre). Le rang devant Chalonge LINDBLAD, OORT, BAARDE. L'avant dernier sur ce rang est LEMAÎTRE.

- Introduction à l'idée d'une classification spectrale stellaire fondée sur la grandeur et la position de la discontinuité de Balmer, par D. BARBIER.
- Classification à deux ou trois paramètres définis applicables aux étoiles des premiers types spectraux, par D. CHALONGE.
- La théorie du type spectral, par J.C. PECKER.
- Classification stellaire et composition chimique des atmosphères stellaires, par C. DE JAGER.
- Les relations entre les problèmes de la classification stellaire et la structure interne et l'évolution des étoiles, par E. SCHATZMAN.
- La classification spectrale à deux dimensions des étoiles F à partir de la photométrie photoélectrique avec filtres interférentiels, par B. STRÖMGREN.

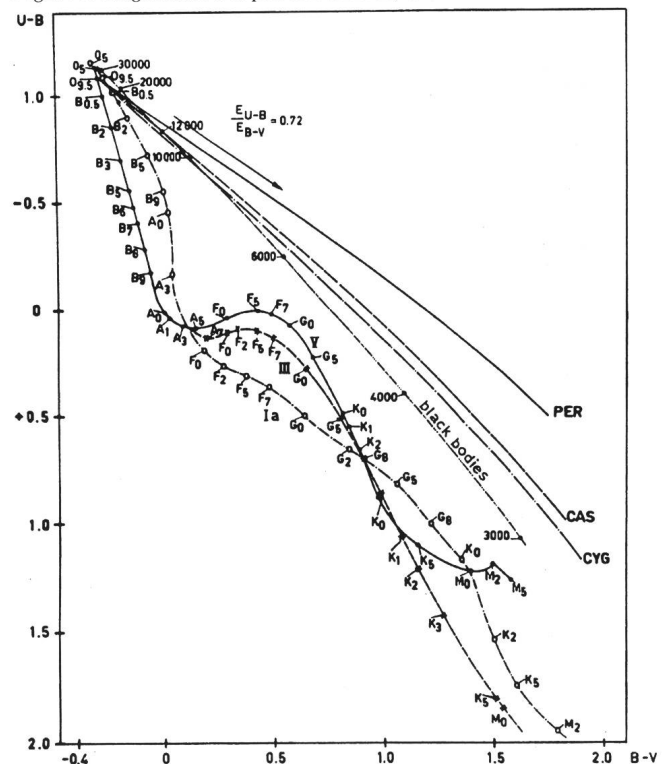
### La classification spectrophotométrique

Les travaux de W.W. MORGAN nous montrent, entre autres, que la classification spectrale associée à la photométrie à 2 ou 3 couleurs permet de déterminer l'extinction interstellaire subie par le rayonnement d'une étoile et contribue ainsi au calcul de sa distance. D'un tel calcul résultent les travaux de W. Morgan sur la structure spirale et l'analyse des bras de la Galaxie. Travaux importants qui coïncident avec la découverte très récente de la distribution de l'hydrogène neutre dans le plan galactique, premier résultat obtenu par la radioastronomie. Pour effectuer ce travail, W. Morgan s'est appuyé sur les

mesures récentes effectuées dans le nouveau système photométrique UBV. Mesures de grande précision pour l'époque,  $\pm 0.02$  mag., précision satisfaisante puisque l'écart entre deux types spectraux successifs était de l'ordre de 0.04 magnitude. De plus, ces mesures étaient rapidement obtenues grâce à l'utilisation des photomultiplicateurs d'électrons récemment déclassifiés par l'armée américaine.

A la même époque, les calculatrices se trouvent plus aisément sur le marché commercial et remplacent avantageusement les tables de logarithmes. C'est grâce à cette nouvelle puissance de calcul que des premiers modèles, un peu plus réalistes, de structure interne des étoiles et des atmosphères stellaires sont publiés. Ces modèles nous paraissent aujourd'hui encore bien éloignés de la réalité car ils ne prenaient pas en compte, sauf pour l'hydrogène, les effets des dizaines de milliers de raies des autres éléments chimiques présents dans l'atmosphère d'une étoile. Pour estimer la validité des modèles il faut comparer la distribution spectrale d'énergie prévue par le modèle avec celle d'une étoile supposée bien connue, le Soleil ou une des étoiles les plus brillantes du ciel. Les résultats étaient généralement très décevants (et sont encore loin d'être satisfaisants). Il y a au moins deux causes à cette situation, d'abord la théorie des atmosphères stellaires n'est pas assez évoluée puis les techniques de mesures spectrophotométriques sont trop peu précises pour des sources aussi faibles que les plus brillantes étoiles du ciel. A titre d'exemple, les propriétés du maintenant classique diagramme U-B versus B-V des photométristes (Fig 2) ne pouvaient pas être reproduites à partir des modèles de l'époque ni même à partir des distributions spectrales d'énergie publiées. En ce qui concerne les observations, spectrophotométristes et photométristes avaient à tenir compte des effets de l'absorption atmosphérique, correction encore aujourd'hui souvent mal

Fig2: Le diagramme des photométristes, U-B versus B-V.





maîtrisée. La réduction des mesures était (et est encore) particulièrement difficile pour les rayonnements ultraviolets.

En 1953, un seul astronome a vraiment la maîtrise de la détermination précise des distributions spectrales pour une grande variété de classes d'étoiles. C'est DANIEL CHALONGE. Il avait en fait abordé ce problème 20 ans auparavant. De plus, il en avait acquis les techniques de base entre 1921 et 1933 en tant que physicien au laboratoire de CHARLES FABRY, laboratoire réputé pour ses recherches en photométrie et en interférométrie. Là il s'intéressa particulièrement au rayonnement continu de l'hydrogène, or les astronomes le découvriront bientôt, l'hydrogène joue un rôle essentiel dans la forme de la distribution spectrale de l'énergie des étoiles. Pour mesurer et analyser ce rayonnement il a d'abord été obligé de fabriquer des sources de rayonnements ultraviolets et visibles très stables, et des microphotomètres pour mesurer avec précision les intensités à des longueurs d'ondes bien définies. En travaillant sur le rayonnement ultraviolet de l'hydrogène, il se heurte dès 1929 à l'absorption produite par l'ozone, or l'ozone se trouve dans la haute atmosphère terrestre et empêche le rayonnement ultraviolet des étoiles (particulièrement important pour les étoiles chaudes) d'atteindre nos télescopes à la surface de la Terre. Pour les étoiles chaudes et lointaines, Chalonge devra s'intéresser 25 ans plus tard à un autre effet absorbant terriblement efficace dans l'ultraviolet, celui de la poussière interstellaire.

#### La méthode et la classification de CHALONGE

En 1933 le directeur de l'Observatoire de Paris, ERNEST ESCLANGON, offre à Chalonge une place d'aide astronome. Les remarquables techniques développées par Chalonge au Laboratoire Fabry seront désormais appliquées à l'étude des rayonnements stellaires. Toute la vie de Chalonge sera, dès lors, consacrée à tenter d'obtenir les meilleurs spectres du plus grand nombre d'étoiles possible de tous les types qui peuplent le diagramme Hertzsprung-Russel. Pour accomplir sa mission il perfectionnera continuellement ses instruments de mesure (microdensitomètre, spectroscopie stellaire, télescope, analyse des émulsions photographiques, etc.), il testera, développera, comparera un grand nombre de sources devant fournir des rayonnements extrêmement stables et reproductibles. La spectrophotométrie stellaire de la qualité que veut atteindre Chalonge ne dépend pas seulement du progrès des techniques et de l'ingéniosité du physicien. Elle dépend surtout de la maîtrise des effets pervers de l'absorption atmosphérique, ce qui impose aux observateurs de suivre une procédure rigoureuse, tant durant l'acquisition des mesures que durant la phase de réduction. J'ai déjà signalé que Chalonge avait acquis les bases de son métier à la difficile école de Fabry et qu'à cette occasion il avait travaillé sur le rayonnement de l'hydrogène et l'absorption par l'ozone.

En s'intéressant, dès 1933, à la spectrophotométrie stellaire, particulièrement celle des étoiles chaudes, Chalonge se heurtait au problème de réduction le plus difficile de l'époque : comment corriger les rayonnements stellaires de l'absorption par l'atmosphère de la Terre ? Une seule solution : se débarrasser de cette atmosphère ; ce ne sera cependant réalisable qu'avec la mise en orbite des premiers satellites astronomiques (précédés par quelques tirs de fusées puis, dès 1970, par des télescopes emportés par des ballons à des altitudes élevées). En attendant, un seul moyen était à disposition des astronomes, installer télescopes et spectrographes sur les plus hauts sommets alpins. Cette solution, particulièrement attrayante pour Chalonge, s'est concrétisée

dès 1928 par quelques observations de spectroscopie stellaire à partir de la terrasse du Berghaus au Jungfraujoch. Dès 1931, un programme systématique prend forme en installant un télescope sur la terrasse supérieure de la Station Scientifique du Jungfraujoch (devenue depuis la *Fondation du Jungfraujoch - Gornergrat*). Ainsi, dès les années 1930, Chalonge réussissait la synthèse de ses deux passions, la spectrophotométrie et l'alpinisme.

Cette dernière remarque fait surgir dans ma mémoire une image qui m'avait profondément marqué entre 10 et 12 ans. Parfois mes parents m'autorisaient (rarement) à aller au cinéma, mais seulement dans un cinéma qui ne présentait que des dessins animés et des actualités. J'ai donc eu l'occasion de voir un très court film montrant un astronome, une partie du visage cachée par un épais bonnet de fourrure, travaillant avec un petit télescope au sommet du Jungfraujoch. Le commentateur précisait que cet astronome mesurait la température des étoiles et du Soleil. Mesurer la température des étoiles, voilà une opération qui m'impressionna beaucoup à l'époque et me laissa bien songeur durant quelques jours. Je ne pouvais guère m'imaginer alors que ce problème occuperait une bonne partie de mon temps durant un peu moins d'un demi-siècle. J'ai tenté de retrouver, sans succès hélas, cette séquence filmée en explorant plusieurs archives cinématographiques en Suisse et en France. Beaucoup plus tard, découvrant d'autres images de Chalonge contemporaines de cette époque, je me suis convaincu que l'astronome au bonnet de fourrure était Chalonge dont les articles allaient m'initier à la mesure de cette grandeur physique très complexe qu'est la température d'un objet stellaire.

De 1930 à 1940, seuls les observatoires ayant de grands télescopes avaient aussi les moyens d'enregistrer photoélectriquement l'intensité des rayonnements émis dans les diverses longueurs d'ondes des spectres d'étoiles très brillantes. L'opération se faisait à l'aide d'une fente balayant de façon continue. Ou, parfois, la fente se fixait sur certaines longueurs d'ondes bien choisies afin de pouvoir intégrer un nombre suffisant de photons pour obtenir un signal photoélectrique mesurable. La correction des effets de l'absorption atmosphérique se déduisait souvent à partir d'un modèle théorique de structure de l'atmosphère terrestre. L'avantage de la cellule photoélectrique sur l'émulsion photographique est que la relation entre l'éclairement et l'intensité du courant photoélectrique est linéaire mais, grave inconvénient, jusqu'en 1950, ce courant sera très faible et son intégration techniquement encore très difficile. Chalonge va donc rester fidèle aux techniques photographiques qu'il maîtrise parfaitement. N'ayant pas encore à sa disposition un grand télescope, il adopte une faible résolution spectrale, 250Å/mm, aux environs de la raie  $\gamma$  de l'hydrogène (Fig 3). Son but étant d'obtenir des distributions spectrales d'énergie pour un grand nombre d'étoiles, il va réunir sur le même cliché les spectres de plusieurs étoiles différentes, enregistrées avec des temps de pose différents, à des hauteurs au-dessus de l'horizon différentes, en compagnie d'étoiles bien connues avec en plus les spectres issus d'une source artificielle de référence. Il est évident qu'avec la faible résolution spectrale adoptée par Chalonge, les spectres stellaires mettent surtout en évidence les effets de l'absorption continue par les transitions et les ionisations produites par les atomes d'hydrogène (donc les raies caractéristiques de cet atome et la très importante discontinuité de Balmer). Seules les raies les plus intenses de quelques métaux apparaîtront pour les étoiles plus froides que le type spectral A, ce qui se révélera extrêmement utile lorsque



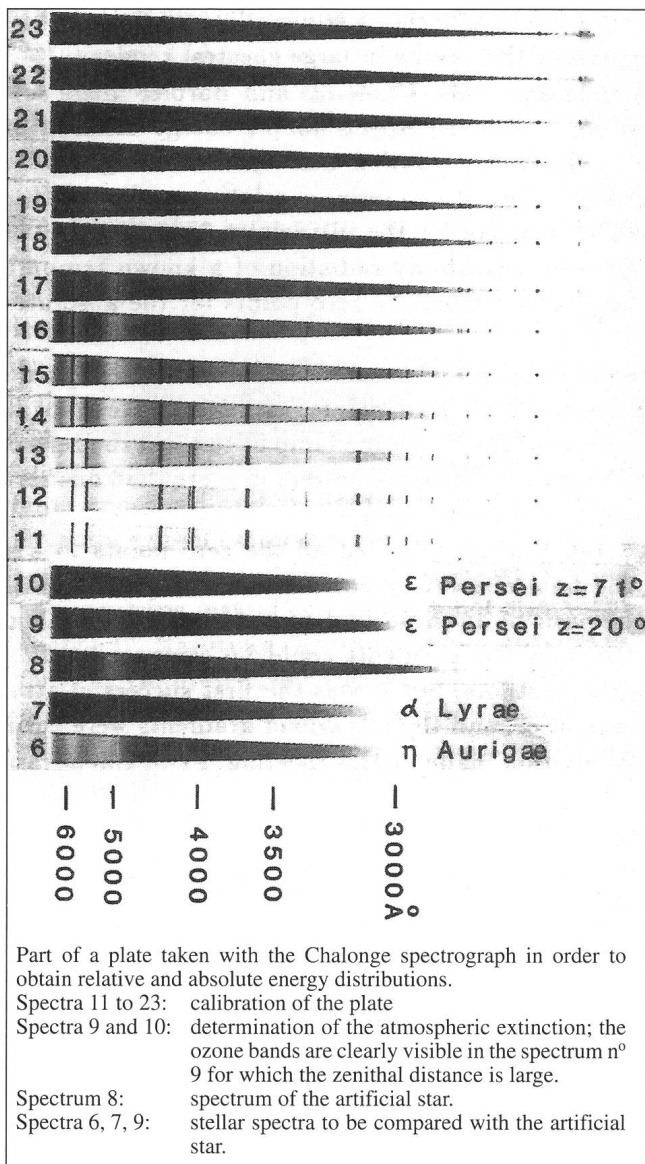


Fig 3: Exemple d'un cliché caractéristique de la spectrophotométrie de Chalonge.

Chalonge réalisera une classification à trois dimensions. Les distributions spectrales d'énergie déduites des spectres de Chalonge peuvent être décrites par deux ou trois courbes enveloppes et une courbe abrupte décrivant les effets cumulés des raies de la série de Balmer de l'hydrogène et de la discontinuité de Balmer.

Une seule plaque couverte de plusieurs spectres stellaires nous apporte de nombreuses informations. D'abord, elle permet la mesure de l'absorption atmosphérique en comparant les distributions spectrales obtenues pour la même étoile enregistrée à deux hauteurs différentes au-dessus de l'horizon. Ensuite, la comparaison des distributions spectrales de deux étoiles de même type spectral mais situées à des profondeurs différentes de matière interstellaire conduit à la détermination de la (des) loi(s) d'extinction par la poussière interstellaire. Enfin, la comparaison des distributions spectrales d'énergie d'étoiles de types spectraux différents va conduire à une

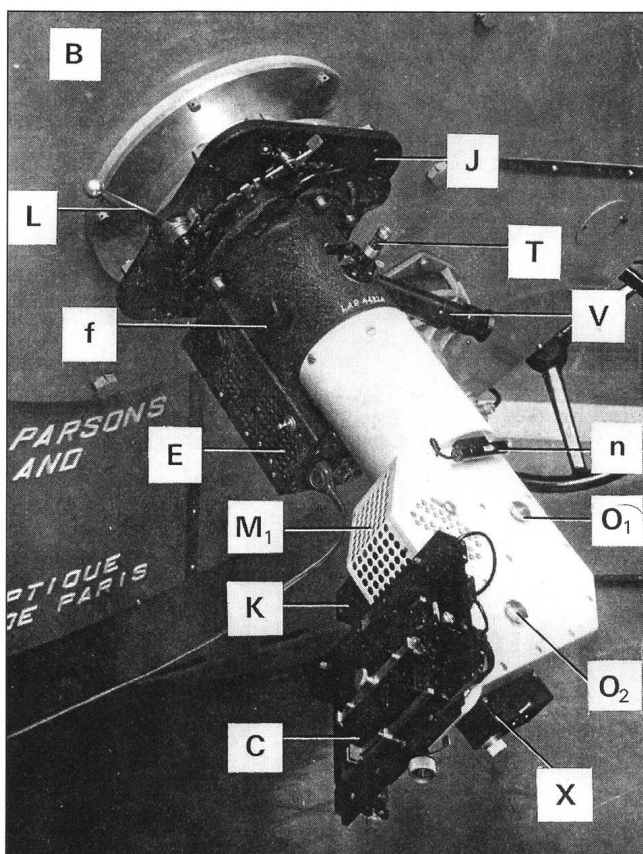
procédure raffinée de classification spectrale qui fera la réputation de Chalonge et de ses collaborateurs. Je reviendrai plus loin sur cette classification. J'insiste cependant sur le fait que la technique de Chalonge permet, avec des télescopes modestes, d'obtenir les distributions spectrales d'énergie de plusieurs milliers d'étoiles, des naines aux supergéantes, des étoiles stables aux étoiles variables ou même cataclysmiques, des plus chaudes aux plus froides, des étoiles de toutes les régions de la Galaxie, obscurcies ou non par la poussière interstellaire, des étoiles membres d'amas galactiques aux étoiles membres des amas globulaires proches, etc.

#### Les paramètres de la classification CHALONGE

Plus de 20 années ont été nécessaires à Chalonge et ses collègues, collaborateurs et amis pour atteindre la précision et l'homogénéité qui a permis à d'autres spécialistes d'exploiter avec confiance toutes ces données. Au cours de ces 20 années, non seulement des étoiles ont été mesurées mais les équipements se sont perfectionnés et adaptés à l'évolution rapide des technologies. Par exemple divers types de spectrographes ont été construits, divers modèles de sources de lumière bien calibrées ont été réalisés, surveillés, comparés à des corps noirs de référence. Les microphotomètres, instruments essentiels de la procédure de réduction, se sont continuellement améliorés tant pour la détermination précise des longueurs d'ondes que pour la mesure des densités de noircissement dont sont déduites les intensités des rayonnements.

Le spectrographe développé par Chalonge (Fig 4) doit retenir notre attention car il est particulièrement original et ingénieux: les spectres obtenus ont une largeur qui varie avec la longueur d'onde. Le but de cette technique est d'éviter que les régions brillantes du spectre stellaire conduisent à une surexposition de l'émulsion photographique et les régions faibles à une sous-exposition, donc à une perte d'information dans ces deux situations extrêmes, donc aussi une perte de précision. A cause de la discontinuité de Balmer le rayonnement ultraviolet des étoiles chaudes sera moins intense que le rayonnement dans la région visible du spectre. La région UV sera donc moins élargie. Cet élargissement variable est atteint en faisant osciller le châssis à l'aide d'une came.

Les clichés obtenus, une longue et minutieuse procédure commence; procédure difficilement transmissible et qui ne sera appliquée avec rigueur que par les collaborateurs proches de Chalonge et qui en assureront, ainsi, longtemps la qualité. Bien que l'informatique ait pris son essor du vivant de Chalonge, je ne crois pas qu'il ait fait beaucoup d'efforts pour rendre automatique les phases les plus fastidieuses de cette réduction. Les bons spécialistes ne manquaient pas autour de lui. Son âme de physicien de laboratoire, d'observateur, ne pouvait cependant pas envisager un instant qu'un point sur un graphique puisse être posé sans avoir fait l'objet d'une réflexion préalable. Je suis certain que cette attitude est rigoureusement incompréhensible pour les jeunes scientifiques nés après la commercialisation du transistor (eux-mêmes seront victimes d'autres incompréhensions de la part de la génération née avec l'apparition des PC dans les supermarchés). L'histoire de la spectrophotométrie, non encore écrite, montrera certainement que c'était la discipline de Chalonge qu'il fallait à cette époque afin de disposer des distributions spectrales d'énergie dont les photométristes avaient besoin (Figs 5 et 6). Cette longue procédure conduit le chercheur à dessiner, sur l'enregistrement des densités de noircissement du spectre stellaire, des courbes enveloppes passant pour



Le spectrographe, au foyer Cassegrain du télescope de 193 cm de l'Observatoire de Haute-Provence.

- J dispositif de fixation du spectrographe
- L levier commandant la rotation de ce dispositif
- E carter contenant l'appareillage électrique commandant les moteurs, les lampes d'éclairage, le dispositif d'obturation, etc.
- V viseur de fente
- f bouton de commande de l'ouverture de la fente
- T commande du cône tournant
- n niveau pour le contrôle de la verticalité du plan fente-axe du collimateur
- M<sub>1</sub> carter contenant le moteur d'oscillation
- K carter contenant la came
- O<sub>1</sub> ouverture située au-dessus de l'objectif du collimateur
- O<sub>2</sub> ouverture située au-dessus de l'objectif de chambre
- C châssis photographique
- X obturateur.

Fig 4: Image du spectrographe de Chalonge et de la description qu'il en donne (cf. ORION no 269, page 205).

chaque intervalle de longueur d'onde par les points de plus forte intensité du rayonnement, et donc probablement les plus représentatifs du rayonnement continu de l'étoile. Ces enveloppes peuvent être comparées à celles des étoiles de référence en portant les logarithmes des rapports d'intensité en fonction des inverses des longueurs d'onde. Dans de tels diagrammes, les distributions spectrales relatives sont des éléments de droites sauf dans la région de la discontinuité de Balmer. Les pentes de ces droites sont des mesures d'une

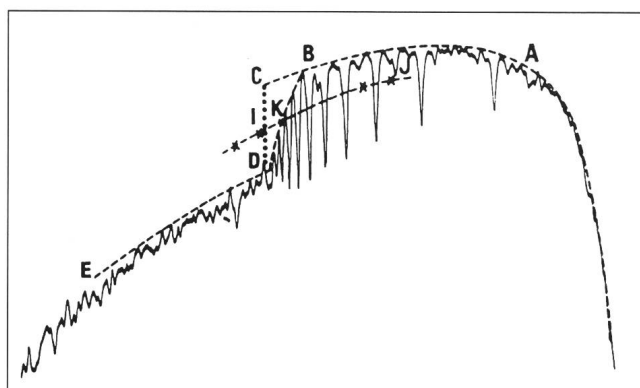


Fig 5: Enregistrement spectrophotométrique d'un spectre stellaire. Description des enveloppes et points qui conduisent à la définition des paramètres de la spectrophotométrie introduits par Chalonge et ses collaborateurs.

grandeur importante dans l'analyse de Chalonge, ce sont les gradients relatifs. Ces grandeurs sont déduites des propriétés des distributions spectrales d'énergie des corps noirs qui auraient, dans l'intervalle choisi, les mêmes distributions spectrales que les étoiles enregistrées. Un gradient relatif est, par définition, la différence de deux gradients absolus. Le gradient absolu est une fonction de l'inverse de la température du corps noir dont on adopte la distribution spectrale, dans l'intervalle spectral choisi, pour représenter celle de l'étoile étudiée. Ainsi, la mesure des

Fig 6: Feuille de travail de Chalonge (relevés d'intensités à diverses longueurs d'ondes).

VIS								
Mars - 1 Oct 1977 SHon -								
m°	$1/\lambda$	10lac	$\sigma$ ou	10ri	150ri	HD 36 260	E. Fev	HD 37 203
2	2625	-9025					-9065*	-9013
34	2661	-9026					65*	8
3	2682	12	-9035	-9050	+9044	+9050	64	10
4	2701	23	0035	95	42	50	64	8
5	2801	27	32	93	40	49	60	10
6	2880	16	37	98	37	47	53	6
7	2927	15	37	99	33	48	60	7
8	2953	11					60*	8
9	3048	10					60*	6
10	3120	9	-9036	-9038		52	58	10
11	3154	7	33	99	22	48	53	8
12	3205	7	39	99	23	44	58	6
13	3255	4	41	100	22	46	57	5
14	3304	3	42	102	19	47	57	2
15	3391	+9004	43	102	16	50	57	3
16	3397	2	43	102	15	49	57	2
17	3443	3	43	102	12	48	56	3
18	3488	4	46	105	9	46	57	1
19	3532		47	106	6			
20	3575							
21	3618							
22	3659							
48		081	070	070	062	072	075	075
49		063	052	052	048	045	045	042
50		048	035	037	047	027	025	0407
51		64	71	62	68	54	54	53

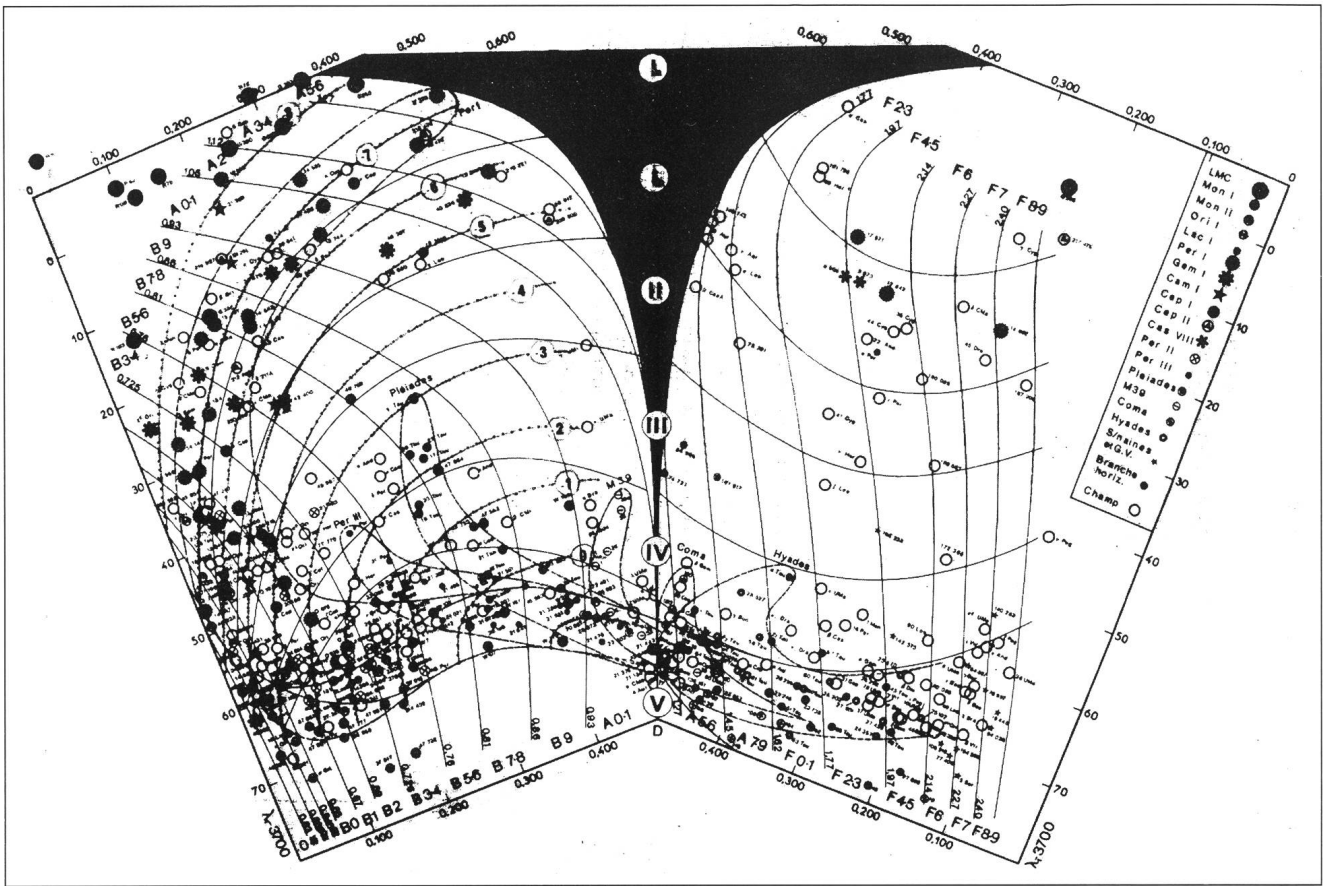


Fig 7: La relation  $D$  versus  $\gamma_1$ , forme déroulée de la surface de la fig 8.

gradients relatifs conduit à l'estimation des températures de corps noirs dans la région choisie du spectre stellaire (ces températures sont appelées « températures de couleur »).

Chalonge, dès 1932/1933, décrit les distributions spectrales des étoiles à l'aide de deux paramètres, un gradient et la grandeur  $D$  de la discontinuité de Balmer. Nous venons de voir que pour bien décrire une distribution d'énergie il faut donner plusieurs gradients, chacun étant défini dans un intervalle fixé de longueur d'onde. Pour des raisons pratiques et techniques, Chalonge a adopté un gradient défini entre 3800Å et 4800Å. Vers 1950, d'autres gradients, définis dans l'UV et dans la partie rouge du spectre, seront introduits par ses collaborateurs et seront très importants pour aider les photométristes dans le choix des bandes passantes des systèmes à plusieurs couleurs. Très tôt, son collègue DANIEL BARBIER, plutôt théoricien, ajouta un curieux paramètre  $\gamma_1$  qui représente la position en Å de la discontinuité de Balmer. Ces deux paramètres  $\gamma_1$  et  $D$  sont particulièrement intéressants car s'ils dépendent du type spectral de l'étoile, donc de sa température, ils varient aussi fortement avec la gravité à la surface de l'étoile, donc avec sa magnitude absolue, et par là sont des indicateurs de la classe de luminosité (Fig 7). De plus, la détermination de ces deux paramètres s'effectuant en analysant la variation de l'intensité sur un petit intervalle de longueur d'onde a pour conséquence qu'ils sont pratiquement indépendants de l'extinction par la matière interstellaire. Ce n'est pas le cas pour les divers gradients; cet inconvénient sera en fait un avantage car il permettra au groupe Chalonge de mesurer la quantité de matière

interstellaire traversée par le rayonnement stellaire et même de nous donner la première bonne loi d'extinction produite par les grains de poussière interstellaire.

Les deux paramètres  $D$  et  $\gamma_1$  permettent de substituer à la classification spectrale traditionnelle, discrète, exprimée à l'aide d'un code de lettres, de chiffres romains, de préfixes et de suffixes, une représentation dans un espace à deux dimensions au moins et variant de façon continue. Dans un tel espace, les étoiles de même type spectral traditionnel, par exemple toutes les étoiles B7V, se trouveront rassemblées dans un carré curviligne. Dans ce carré, la distance entre deux points est significative d'une différence de gradient (donc de température) et d'une différence de magnitude absolue, donc de gravité. Ajoutons maintenant à ces deux paramètres un des gradients définis par Chalonge, le gradient  $\phi_b$  (intervalle 3800-4800Å), lequel dépend de la température et de l'extinction interstellaire. Ainsi, une distribution d'énergie dans un spectre stellaire peut être caractérisée par trois paramètres, donc représentable par un point dans un espace à trois dimensions. Supposons les étoiles assez proches afin de ne pas subir d'absorption par la matière interstellaire, supposons aussi que toutes ces étoiles peuvent bénéficier d'une classification MK (version moderne de la classique classification de Harvard), alors nous constatons que toutes ces étoiles se disposent dans l'espace à trois dimensions sur une surface gauche. Cette surface est donc le lieu des étoiles ayant une composition chimique identique à celle du Soleil. Les étoiles plus pauvres en métaux, dites souvent de population II, se





placent en dehors de la surface, l'écart pouvant être une mesure du degré de pauvreté en métaux. Cette propriété de la représentation à trois dimensions des spectres stellaires a été montrée à Paris en 1953 par Chalonge. Ainsi, les étoiles du halo de notre Galaxie et les étoiles des amas globulaires se placent largement en dehors de cette surface.

Cette image de la surface de Chalonge m'a fasciné dès sa publication et c'est toujours avec curiosité et intérêt que je contemple la première maquette en bois qui en a été faite plus de 70 ans après la première classification spectrale par SECCHI. Pour la première fois, nous disposions d'une spectrophotométrie couvrant un large éventail de types spectraux et de classes de luminosité, d'étoiles pauvres en métaux ou riches en métaux, ou encore avec des singularités dans leur spectre. La méthode, pouvant être appliquée à des objets peu lumineux, sans exiger des temps de pose élevés même avec des télescopes modestes, offre la possibilité d'analyser des étoiles appartenant à des amas galactiques, des plus jeunes aux plus vieux.

### La photométrie à bandes passantes

Ce n'est donc pas un hasard si, dès 1952 environ, plusieurs astronomes envisagèrent d'obtenir des indicateurs des paramètres de Chalonge à partir de mesures photométriques faites avec des combinaisons de filtres. Les photométries à plusieurs couleurs (bandes passantes) existaient depuis presque 30 ans. Elles n'étaient cependant pas assez précises pour nous apporter des informations intéressantes et, en l'absence de bonnes mesures spectrophotométriques, impossibles à calibrer et interpréter correctement. Cette année 1952 était donc importante pour nous: nous avions la technologie et nous avions la spectrophotométrie de nombreuses étoiles standards. A la même époque apparaissaient sur le marché les premiers filtres interférentiels à couches multiples qui nous offraient la possibilité de réaliser des bandes passantes étroites ou larges avec des formes rectangulaires à première vue très attrayantes. Les astronomes qui avaient accès à de grands télescopes essayèrent de développer des photométries à bandes passantes très étroites (B. STRÖMGREN, par exemple aux USA et au Danemark), d'autres qui ne pouvaient guère imaginer d'avoir accès un jour à un télescope important (cas des jeunes astronomes de l'Observatoire de Genève), cherchèrent du côté des systèmes photométriques à bandes passantes intermédiaires et larges.

Chalonge distribuait avec une extrême générosité ses mesures, mais seulement les mesures qui avaient la précision qu'il avait décidé d'atteindre. Lorsqu'il n'était pas tout à fait satisfait, et parfois un ou deux ans plus tard, il nous communiquait ses corrections. Cette attitude a pratiquement disparu de nos jours. Chacun protège son capital de mesures, ne les communique qu'avec parcimonie, ajoute de multiples conditions quant à l'usage que nous allons en faire, marchande sa participation aux futures publications. Chacun de nous, je suis certain, ne peut guère citer plus de cinq collègues avec lesquels une collaboration semblable à celle que nous avons connue avec Chalonge peut encore avoir lieu.

A la même époque apparaissaient les premiers diagrammes photométriques du système UBV. Regardez le diagramme U-B versus B-V (Fig 2), regardez aussi la surface spectrophotométrique de Chalonge (Fig 8), imaginez-la éclairée et projetée selon diverses inclinaisons par rapport à l'écran. Une des projections est d'un intérêt immédiat pour notre propos: orientez la surface afin d'avoir l'axe des gradients  $\phi_b$  horizontal et l'axe **D** (discontinuité de Balmer) vertical, et projetez la

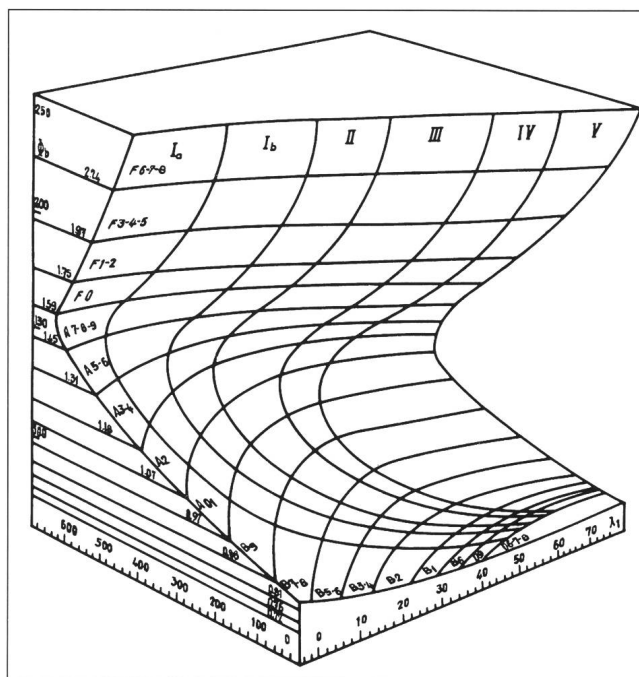


Fig 8: La Surface de Chalonge.

surface sur l'écran en maintenant le plan de ces deux axes parallèle à l'écran. L'image projetée sur l'écran ressemble étrangement à celle du diagramme U-B versus B-V. L'examen détaillé de cette projection nous permet d'interpréter les propriétés de ce diagramme purement photométrique. Nous voyons les effets complexes de la gravité à la surface des étoiles et constatons, particulièrement si on ajoute dans cette projection les étoiles pauvres ou riches en métaux, que l'information contenue dans la surface de Chalonge est plus riche que celle fournie par le système UBV. Pour se rapprocher, avec des techniques photométriques, de la capacité d'information contenue dans la spectrophotométrie de Chalonge, il faut augmenter le nombre des bandes passantes (solution adoptée à Genève), ou utiliser une combinaison de bandes passantes étroites et très étroites (solution imaginée par Strömgen), ou encore placer des bandes passantes à cheval sur la discontinuité de Balmer, et en ajouter dans la partie la plus violette du spectre accessible au sol ainsi que dans la partie la plus rouge (solution du groupe de Vilnius).

Grâce à la spectrophotométrie de Chalonge, les photométristes ont pu se livrer à des simulations en calculant des indices de couleur avec des bandes passantes théoriques appliquées aux distributions d'énergie fournies par lui. Ces calculs, à cette époque pré-informatique, bien que terriblement fastidieux, nous évitait de perdre notre temps en testant directement les propriétés d'un système photométrique à partir des observations. C'est ainsi que j'ai choisi les bandes passantes du système photométrique de Genève.

### La photométrie de Genève

Dès les années 1956, les travaux de Chalonge et de ses collaborateurs, et le développement du système photométrique en sept couleurs à bandes passantes intermédiaires et larges que j'avais adopté pour l'Observatoire de Genève, nous conduisirent l'un et l'autre à avoir des intérêts communs. Par exemple, avoir une absorption dans l'ultraviolet aussi faible que





possible. Nous avons donc intérêt à collaborer en vue de l'amélioration des moyens d'observation au Jungfrauoch. Grâce aux travaux de A. LALLEMAND à l'Observatoire de Paris, je disposais de photomultiplicateurs de grande qualité et je calculais qu'avec un télescope de 40cm de diamètre je pouvais mesurer facilement les étoiles du catalogue *Bright Stars*, les étoiles les plus connues des amas des Hyades, des Pléiades, de Praesepe, etc. ainsi que toutes les étoiles dont Chalonge avait déjà fait la spectrophotométrie. Je pouvais donc envisager de réaliser une photométrie à sept couleurs extrêmement homogène (pour toutes les étoiles le même détecteur, les mêmes filtres, le même télescope, le même site, la même procédure de réduction et - avantage de notre pauvreté - les mêmes observateurs) pour des étoiles bénéficiant de la meilleure classification spectrale de l'époque, celle de Chalonge. Celui-ci a été immédiatement intéressé par mon projet d'installer un télescope de 40cm au Jungfrauoch, et j'en ai tenu compte dans la conception de l'instrument afin que son spectrographe puisse y être monté sans difficulté.

Assez rapidement nos travaux nous imposèrent de pouvoir observer aussi des étoiles plus faibles, particulièrement dans les amas galactiques. A partir des années 1960, les modèles de structure interne des étoiles s'amélioraient et les théories de l'évolution stellaire se devaient d'être testées à partir des diagrammes couleurs (ou type spectral) versus luminosité (ou magnitude apparente, ou parfois magnitude absolue). La spectrophotométrie de Chalonge et la photométrie de Genève pouvaient l'une et l'autre (ou ensemble) contribuer à fournir les observations nécessaires au contrôle des diverses théories. Nous avons donc envisagé d'installer au Jungfrauoch un télescope plus important de 76cm de diamètre. Ce fut une grande aventure car il fallait aussi construire une nouvelle coupole. A l'échelle suisse, le projet devenait important, trop important aux yeux des fonctionnaires qui considéraient la recherche astronomique comme une science inutile, et que le rôle des observatoires était de contrôler l'horloge parlante et les montres de l'industrie horlogère suisse (la concurrence japonaise n'était alors pas prise au sérieux). Le projet a donc été réalisé en commun (avec une participation importante de la Belgique). Le ciel nocturne a souvent, au Jungfrauoch, de grandes qualités astronomiques. Mais malheureusement pas assez souvent, et nous nous devons de suivre la brusque accélération de la recherche astronomique dans le monde. Chalonge était un habitué de Zermatt et il connaissait bien la région du Gornergrat. Nous avons fait des tests et sommes arrivés à la conclusion qu'un observatoire équipé de l'ancien télescope de 40cm du Jungfrauoch bénéficiant de 2 à 3 fois plus de nuits de qualité astronomique et photométrique qu'au Jungfrauoch serait un apport important au progrès de nos observations. Ce projet s'est réalisé avec succès en 1966, et cette succursale de la station du Jungfrauoch a connu un essor considérable.

### Conclusion

La collaboration avec Chalonge m'a évidemment imposé de nombreux séjours à l'Institut d'Astrophysique de Paris (IAP) dont il était l'un des fondateurs. Ayant apprécié la conception (nouvelle à l'époque pour l'astronomie) de cette institution, je m'en suis fortement inspiré pour la réalisation de l'actuel Observatoire de Genève (achevé en 1966).

Je n'ai pas l'intention dans cet article de décrire les multiples propriétés et applications d'une photométrie à plusieurs bandes passantes (couleurs) ni de décrire les détails techniques des relations avec la spectrophotométrie de Chalonge.

Par contre je veux insister sur le caractère exemplaire de l'oeuvre de Chalonge et de son groupe. D'abord, toute une vie consacrée à améliorer constamment la technique et la méthodologie qui conduisent à connaître la forme de la distribution d'énergie de la plus grande variété possible d'étoiles et, en plus, de continuellement remettre en question les mesures antérieures à partir des mesures récentes. Ensuite, un grand pouvoir d'accueil à l'égard des jeunes, et son désir de nous convaincre que le vrai travail scientifique n'exige pas seulement une brillante intelligence mais aussi une longue et constante patience et attention. Le mode de financement de la recherche moderne, et la rapidité d'exécution des expériences scientifiques les plus complexes, n'incitent pas à la patience mais par contre peuvent, progressivement, conduire à une inflation de résultats partiels et imprécis, faisant perdre beaucoup de temps aux lecteurs et utilisateurs.

Chacun de nous en écrivant son article a retrouvé dans sa mémoire des images d'événements vécus et le souvenir d'un homme passionné par l'astronomie, évidemment, mais surtout par les mesures bien faites réunies dans des dossiers et des publications où tout est dit et vérifiable. C'était un représentant typique des scientifiques rationalistes et rigoureux de la première moitié de notre siècle qui ont établi les concepts de base de la science que nous pratiquons, et que parfois nous avons essayé de transmettre. Notre génération, de transition entre deux formes différentes de développement de l'activité scientifique, a eu la chance, grâce à Daniel Chalonge, de connaître et de rencontrer plusieurs de ces grands astronomes. Merci Monsieur Chalonge.

MARCEL GOLAY

Observatoire de Genève, CH-1290 Sauverny

## An- und Verkauf • Achat et vente

### Zu verkaufen:

**Gratis** abzugeben: **1 Spiegelschleifgarnitur** für Spiegel-Durchmesser 15 cm, enthaltend Gläser, Karborundum, Polierrot und Pech. Das Material stammt aus der SAG Materialzentrale. Anfragen an Richard Peter, Rigistrasse 36, 6353 Weggis, Tel.-Nr. 041/93 22 73.

## Materialzentrale SAG

**SAG-Rabatt-Katalog «SATURN» mit Marken-Teleskopen, Zubehör und dem gesamten Selbstbau-Programm gegen Fr. 3.80 in Briefmarken:**

*Astro-Programm von BAADER-PLANETARIUM:*

Refraktoren von Astro-Physics, CCD-Kameras ST4X ST5, ST6, ST7, ST8, exklusives Angebot an Videos u. Dia-Serien für Sternwarten, Schulen und Private usw. (in unseren Preisen sind MWST, Zoll und Transportkosten aus dem Ausland inbegriffen!)

*Selbstbau- und Zubehör-Marken-Programm URANUS:*

Parabolspiegel (Ø 6" bis 14"), Helioskop, Fangspiegel- u. -zellen, Hauptspiegelzellen, Deklinations- u. Stundenkreise, SPECTROS-Okulare usw.

Unsere Renner: Selbstbau-Fernrohr «Saturn» netto Fr. 228.-  
Spiegelschleifgarnituren für Ø von 10 bis 30 cm (auch für Anfänger!)

**Profitieren Sie vom SAG-Barzahlungs-Rabatt (7%).**

**Schweizerische Astronomische Materialzentrale SAM.  
Postfach 715, CH-8212 Neuhausen a/Rhf, Tel 053/22 38 69**



## Antarès et Jupiter

*Cette très intéressante région du ciel est malheureusement difficile à observer depuis notre latitude, car elle se trouve juste en dessus de l'horizon. Au centre du nuage constitué principalement de nébuleuses par réflexion, se trouve Antarès. Avec un petit télescope on peut observer 2 amas globulaires: M4 et NGC 6144.*

*Jupiter est au nord d'Antarès, dans le coin de l'image.*

*Photo prise avec la caméra Schmidt  $\phi$  20 cm de l'OMG en 20 minutes de pose le 28.3.1995.*

*Armin Behrend, Observatoire de Miami-Globes, Les Parcs, 2127 Les Bayards*