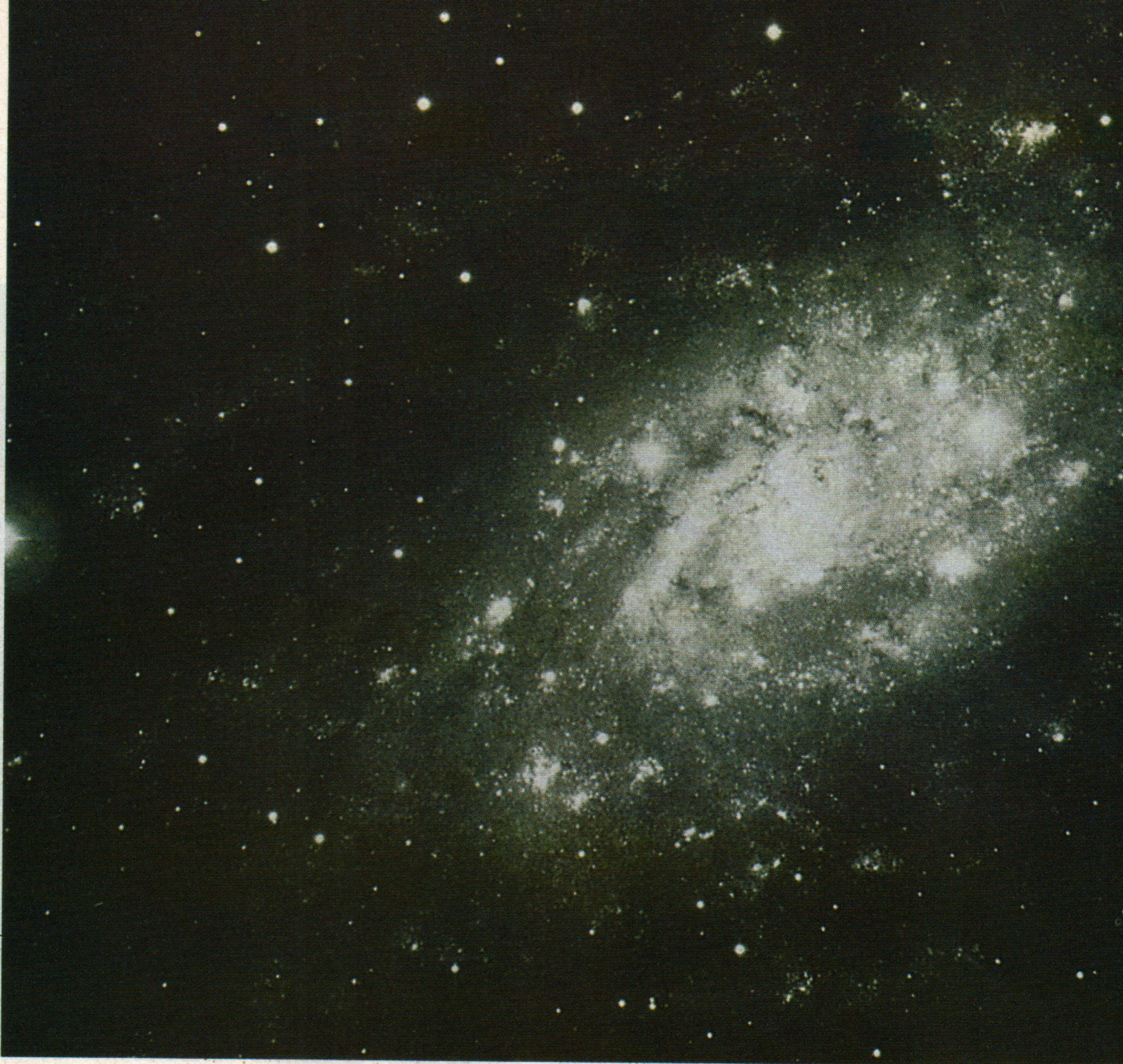


## Treizième homme

**C'**EST une imposante maison élisabéthaine au 813 de la Barbara Street à Pasadena, au nord de Los Angeles. Elle abrite le siège de la Carnegie Institution, cette prestigieuse fondation privée qui réserve à ses chercheurs un statut envié, dégagé de tout contrôle, et qui a vu se succéder depuis le début du siècle les plus grands noms de l'astronomie moderne. Après Minkowski, Zwicky, Baade et surtout Hubble, Allan Sandage est devenu à son tour une figure emblématique de ce haut lieu de la recherche américaine. Lieu où il a effectué toute sa carrière et où, de l'avis de tous, il s'est imposé comme le fils spirituel d'Edwin Hubble. La trajectoire d'Allan Sandage est marquée du sceau de la chance. Comme Halton Arp et Geoffrey Burbidge, il a "grandi" dans le triangle d'or de Pasadena, formé par les trois grands instituts que sont l'Institution Carnegie, le Caltech (Californian Institute of Technology) et le JPL (Jet Propulsion

Hale Observatory



# Allan Sandage L'architecte de l'expansion

Laboratory, de la Nasa). En 1950, à 24 ans, il est choisi pour devenir l'assistant du célèbre Hubble, alors diminué par une attaque cardiaque. Après la mort de son mentor, en 1953, c'est tout naturellement sur lui que va reposer le lourd héritage dont personne ne veut à l'époque : poursuivre la mesure de l'expansion à l'aide du plus grand instrument de la planète, le tout nouveau télescope du mont Palomar<sup>(1)</sup>.

Pendant près de trente ans, il fera partie de la poignée de privilégiés ayant accès à cet outil révolutionnaire, ce qui lui vaudra de vives jalousies. Devenu ainsi cosmologiste sans le vouloir, il sera surtout un observateur inlassable, passant plus de cent nuits par an dans le tube du télescope, suspendu entre ciel et terre. Il sera à la croisée de toutes les grandes découvertes — l'évolution des galaxies, les sources X, les quasars. Mais il s'illustrera surtout dans la mesure de la fameuse constante de Hubble,

Propos recueillis par  
Jean-Marc Bonnet-Bidaud et Alain Cirou

*Il fut de cette poignée  
de pionniers qui ouvrirent  
le monde extragalactique.*

*Depuis près de 50 ans,  
Allan Sandage poursuit  
la quête amorcée par son  
"maître" Edwin Hubble :*

*mesurer le taux  
d'expansion de l'Univers.*

*Rencontre avec  
une légende vivante de  
la cosmologie ...*

et dans l'incroyable bagarre qui l'opposera tout au long des années 70 à l'astronome français Gérard de Vaucouleurs sur la valeur exacte de cette constante. Un débat âpre, à la limite de l'agression verbale, et qui, ironie du sort, ne cesse de rebondir, les récentes données du télescope spatial Hubble venant ajouter à la confusion.

Ce travail de Sisyphe ne l'a pas usé même si, il y a un an encore, il refusait tout entretien lorsque certaines observations semblaient démentir ses prévisions. Beaucoup de ses collègues lui ont fait la réputation d'un ours bourru et misanthrope, sans doute en raison de l'intransigeance totale dont il a fait preuve dans ses joutes scientifiques avec ses adversaires. Mais les années auraient-elles tanné le cuir de sa personnalité aux plus amères critiques ? Allan Sandage montre aujourd'hui un visage nouveau. Affable, plein d'humour et de recul, celui qui a pris en septembre



fondamentale à deux pas d'ici, à l'observatoire du mont Wilson, au sommet de la montagne que l'on aperçoit par la fenêtre. Il avait découvert qu'il existait deux populations d'étoiles : les "jeunes", situées dans les bras de la Galaxie, et d'autres bien plus vieilles, dans certains amas globulaires. C'était une véritable révolution. Elle signifiait que, contrairement à ce que l'on avait cru jusqu'ici, il y avait déjà eu plusieurs générations d'étoiles. Elles n'étaient donc

**Allan Sandage dans la bibliothèque de l'Institution Carnegie où trône le portrait de George Ellery Hale. En arrière-plan, la galaxie NGC 2403 de la Girafe, l'une des premières à avoir été photographiée avec le télescope de 5 m du mont Palomar.**

pas des objets immuables. Elles pouvaient évoluer radicalement et, avec elles, tout l'Univers. Cette idée d'évolution a totalement transformé la cosmologie.

**C. et E. : Vous n'avez donc pas débuté par la cosmologie ?**

**A. S. :** Non, avec Baade, j'étudiais ces nouvelles populations d'étoiles dans les amas globulaires, pour déterminer leur âge. J'appartenais à la toute première promotion d'étudiants en astronomie du Caltech, avec Halton Arp et, un peu plus tard, Geoffrey Burbidge. Walter Baade nous a tout appris de l'observation. À l'époque, nous observions au télescope de 2,5 m du mont Wilson, qui était encore le plus grand du monde et, sans ordinateur ni caméra électronique, il fallait calculer à la main toutes les positions d'étoiles, découper les plaques photographiques nous-mêmes et poser plusieurs heures pour obtenir des résultats sur une seule étoile ! L'éclat des étoiles se mesurait à l'œil, par seule inspection des plaques.

**C. et E. : Vous vous êtes trouvé par la suite à ce tournant de l'astronomie qu'a été la mise en service du nouveau télescope de 5 m de diamètre du mont Palomar, à quelque 200 km au sud d'ici...**

**A. S. :** Ce fut là encore une révolution,

dernier une retraite toute officieuse nous a confié son témoignage sur ces cinquante dernières années de cosmologie.

**Ciel et Espace : Nous sommes ici à l'Institution Carnegie, dans un lieu chargé d'histoire qui a vu passer beaucoup de célébrités. Vous qui êtes issu de ce sérail,**

**quels sont les scientifiques qui vous ont le plus influencé ?**

**Allan Sandage :** En premier lieu, Walter Baade, qui fut mon directeur de thèse en 1949. À la faveur des précieuses nuits noires imposées par le "black-out" de la guerre, il venait de faire une découverte

## Treizième homme

l'équivalent de ce que nous vivons sans doute en ce moment avec l'ouverture des grands télescopes comme le Keck ou le VLT. L'Institution Carnegie et le Caltech s'étaient mis d'accord pour diriger conjointement les monts Wilson et Palomar. Le mont Palomar a été officiellement mis en service en 1948 mais il n'a été opérationnel qu'en 1950. En août de la même année, Hubble a eu sa première attaque cardiaque. Il a fallu nommer un assistant pour l'aider dans ses recherches. Grâce à l'expérience que j'avais déjà acquise, j'ai été choisi et j'ai tout de suite commencé à observer des céphéides, ces fameuses étoiles variables grâce auxquelles on déterminait la distance des galaxies. Au mont Wilson, où il avait établi sa loi de l'expansion, Hubble n'avait pu atteindre ces étoiles que dans des galaxies proches. Au Palomar, nous avons véritablement ouvert le monde extragalactique, atteignant pour la première fois des galaxies en dehors du Groupe local, comme NGC 2403 ou M 81.

**C. et E. :** *Quelle était l'atmosphère d'alors ?*

**A. S. :** Littéralement électrique. Chaque observation débouchait pratiquement sur une découverte. Mais

il régnait aussi un terrible climat de jalousie car l'accès au Palomar était réservé à seulement douze chercheurs dont, bien sûr, Baade et Hubble. Moi, j'étais encore étudiant et je suis devenu le treizième homme. C'était une incroyable responsabilité, et j'étais terrifié.

**C. et E. :** *Comment s'est déroulée la collaboration avec Hubble ?*

**A. S. :** Elle fut, pour ma part, très respectueuse. Je n'avais que 24 ans et, pour moi, Hubble était un dieu... Je pense toujours que c'est le plus grand astronome depuis Copernic. Dans le domaine extragalactique, il a provoqué la même révolution que Copernic dans le Système solaire. À lui seul, il a réussi à démontrer l'existence d'autres galaxies que la nôtre, à réaliser une classification de toutes ces galaxies, qui fait toujours autorité, à découvrir l'expansion de l'Univers et à être le premier à tenter de mesurer la courbure de l'espace. Tout cela en seulement quinze ans, de 1921 à 1936 ! Moi, je me considérais comme son exécutant.

**C. et E. :** *À la mort d'Edwin Hubble, en 1953, vous devenez donc responsable de ce gigantesque programme de mesure des distances dans l'Univers et de la détermi-*

*nation de la fameuse constante de Hubble.*

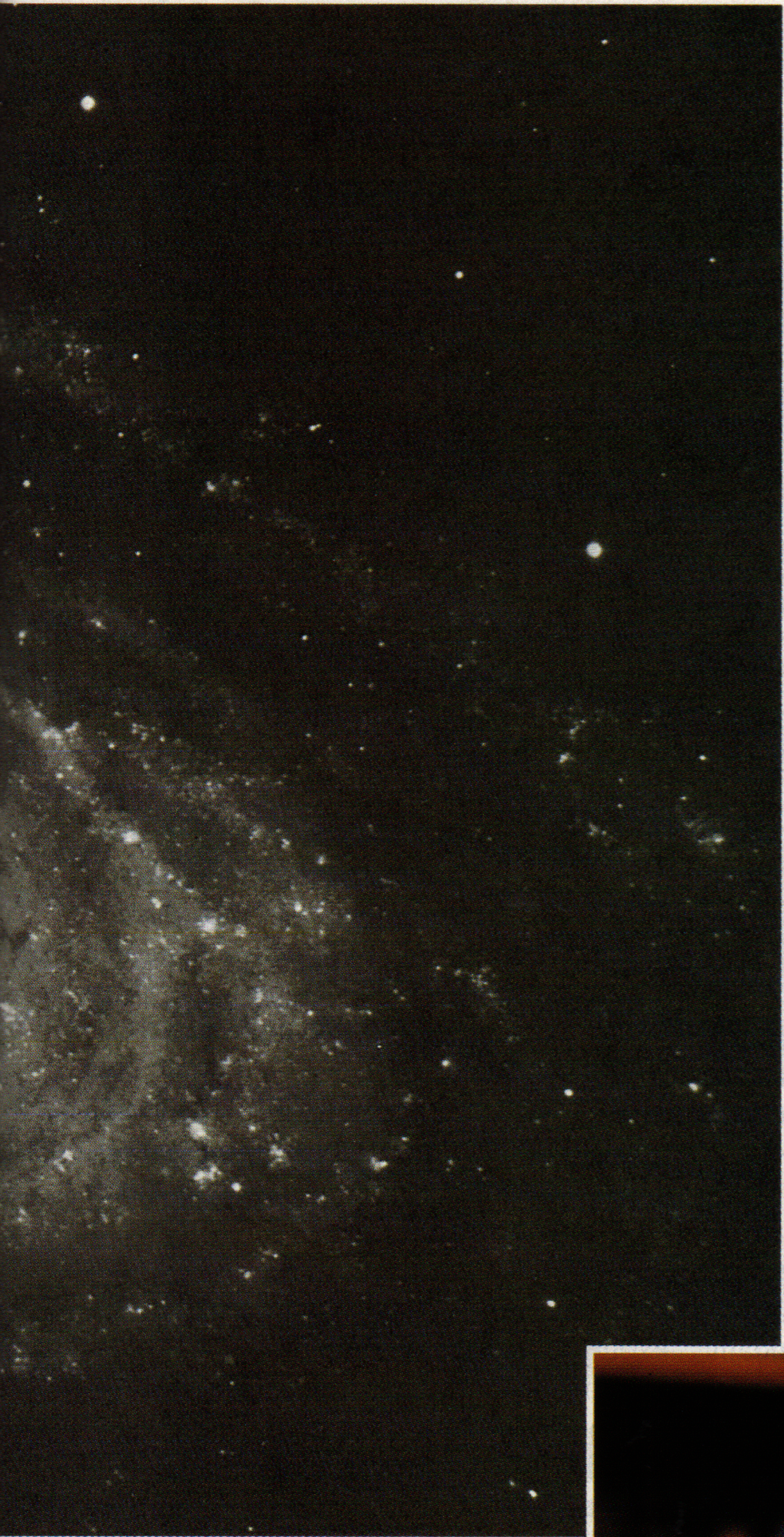
**A. S. :** Oui, c'était le programme central du télescope du Palomar. Vous connaissez l'histoire de cette constante. Elle mesure le taux d'expansion de l'Univers, et c'est tout simplement le rapport entre la vitesse et la distance d'une galaxie. Hubble l'avait déterminée en 1929 (elle s'appelait encore le facteur K) plutôt de manière intuitive, à l'aide d'un très faible nombre de mesures de céphéides, et il avait trouvé une valeur de 500. Mais en 1952, Baade découvrait les différentes populations d'étoiles et notamment, parmi les céphéides, certaines qui étaient plus brillantes que d'autres. Il fallut diviser la constante par 2. Hubble ne voulut jamais l'admettre. Dans l'article que nous avons publié ensemble sur les premières observations du Palomar, paru en novembre 1953, quelques mois après sa mort, je crois que cette correction n'est évoquée qu'au conditionnel, en note de bas de page. Par la suite, en 1958, je découvris que certaines des céphéides utilisées par Hubble pour calculer les distances étaient en fait des régions HII, des nébuleuses de gaz ionisé, beaucoup plus lumineuses que des étoiles. Il fallut encore diviser la constante par trois et sa valeur tomba à 75. Depuis, je n'ai pas cessé

de rechercher la meilleure méthode possible. Avec l'astronome Gustav Tammann, nous avons établi un programme précis pour éliminer toutes les sources d'erreurs et il se trouve que nous aboutissons toujours à la même valeur :  $H_0 = 55$ . Ce qui fait dire à certains de nos adversaires : "Quelles que soient les données, Tammann et Sandage trouvent toujours  $H_0 = 50$ ."

**“Nous n'imaginions pas que la distance des galaxies serait aussi ardue à mesurer”**

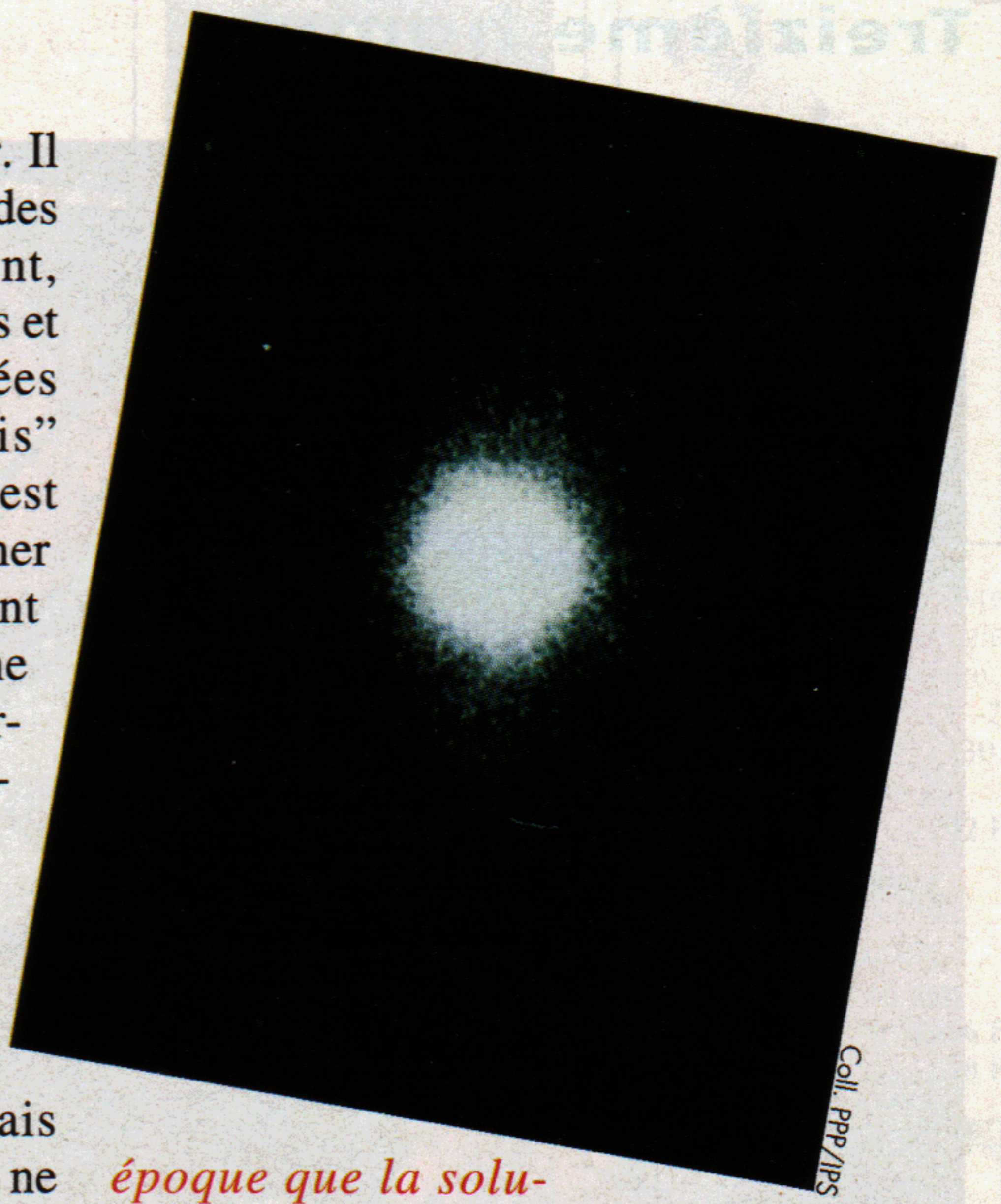
**C. et E. :** *Ce genre de débat vous a violemment opposé à vos collègues, notamment à Gérard de Vaucouleurs. Vous disiez 50 et il trouvait 100, parfois avec les mêmes données. Comment jugiez-vous de Vaucouleurs ?*

**A. S. :** Certains ont comparé nos méthodes en disant que je pariais sur un seul cheval alors que lui répartissait la mise. De fait, si j'ai toujours privilégié une méthode en



Hale Observatory

sont les plus difficiles à estimer. Il existe des multitudes de méthodes différentes qui, le plus souvent, donnent des résultats discordants et qui sont fréquemment entachées d'erreurs — les fameux "biais" d'observation. Le plus connu est celui de Malmquist. Pour estimer une distance, on se sert souvent de la luminosité moyenne d'une classe d'objets, comme les supernovae ou les céphéides. Or certains membres de cette classe sont davantage brillants que les autres. Si vous n'étudiez que des objets proches, pas de problème : vous les voyez tous et votre moyenne est exacte. Mais dans une galaxie lointaine, vous ne verrez que les plus brillants. Votre



Coll. PPE/APS

*époque que la solution était imminente ?*

**A. S. :** Oui, certainement, mais c'était encore les débuts de la cosmologie observationnelle. Celle-ci a véritablement commencé lorsque l'Allemand Wolfgang Mattig a publié, en 1959, un court article fournissant pour la première fois des formules mathématiques simples pour décrire l'expansion. Jusque-là, il fallait passer par

*Histoire d'une découverte ratée : ce cliché de la radiosource 3C48 (en haut à droite), pris par Sandage, allait dormir trois ans avant que d'autres que lui comprennent qu'il s'agissait là du premier quasar. À gauche, autre cliché historique, celui de M81 de la Grande Ourse, pris au 5 m du mont Palomar.*

m'assurant d'éliminer tous les erreurs, lui préférerait faire une moyenne de toutes ses erreurs. La polémique a été très tendue. Nous ne nous adressions jamais la parole mais je dois avouer que j'ai croisé certains regards de haine. À présent, je regrette qu'il ne soit plus là, car il aurait constaté que les valeurs reviennent vers 50. J'ai calculé qu'au rythme actuel, nos opposants arriveront à la bonne valeur en 2007 !

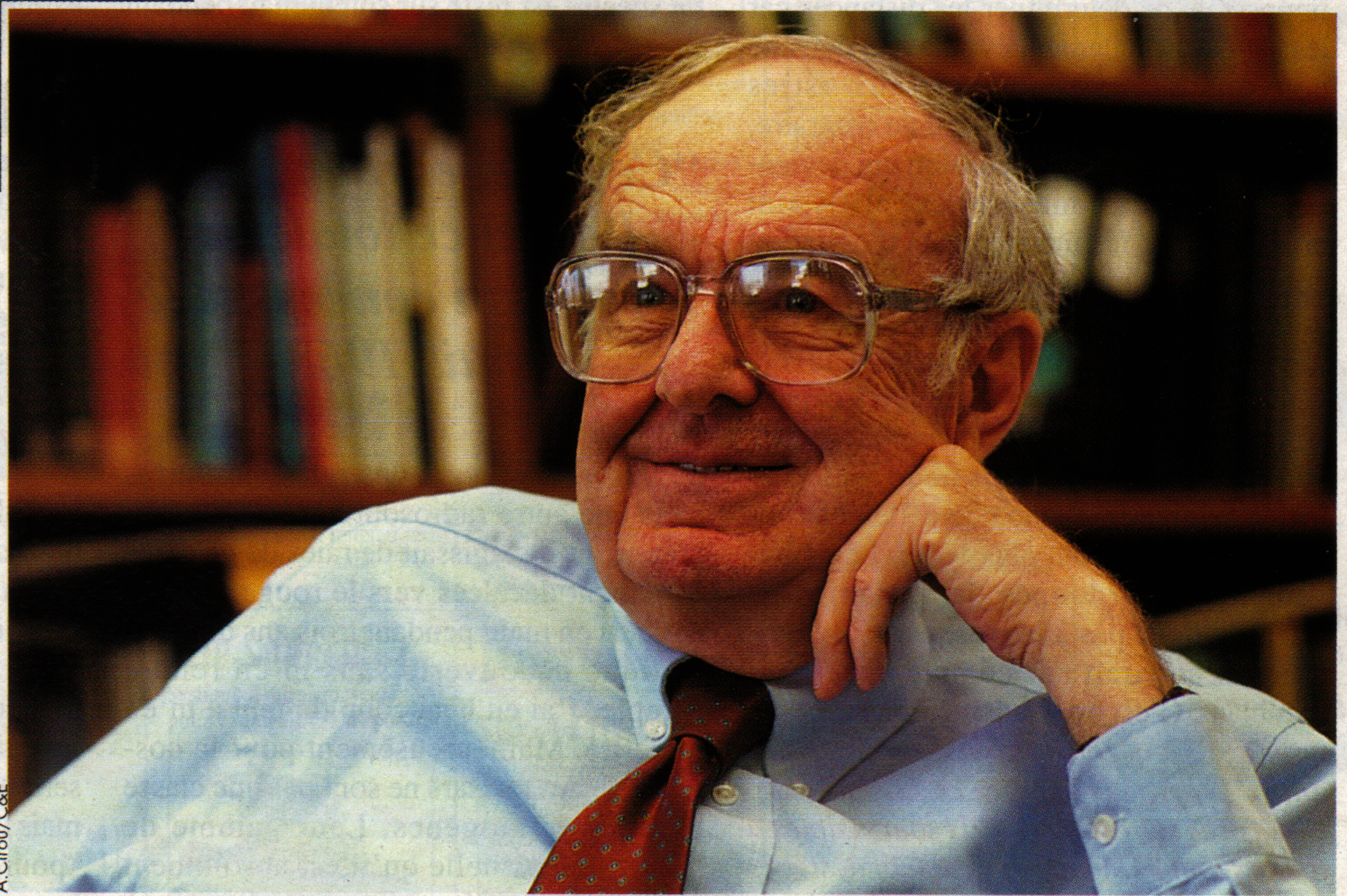
**C. et E. :** *La polémique n'est pas terminée, en effet. Avec les données du télescope spatial — dont l'un des objectifs essentiels était la mesure de  $H_0$  —, certains astrophysiciens comme S. van den Bergh ou votre collègue de Carnegie, W. Freedman, maintiennent que  $H_0$  est plus proche de 70-80. Comment expliquez-vous que, soixante-dix ans après la découverte de l'expansion, il soit encore impossible de mesurer un paramètre aussi fondamental ?*

**A. S. :** Nous n'imaginions pas que ce fameux rapport "vitesse d'éloignement/distance des galaxies" soit aussi complexe à mesurer. En fait, ce sont les distances qui

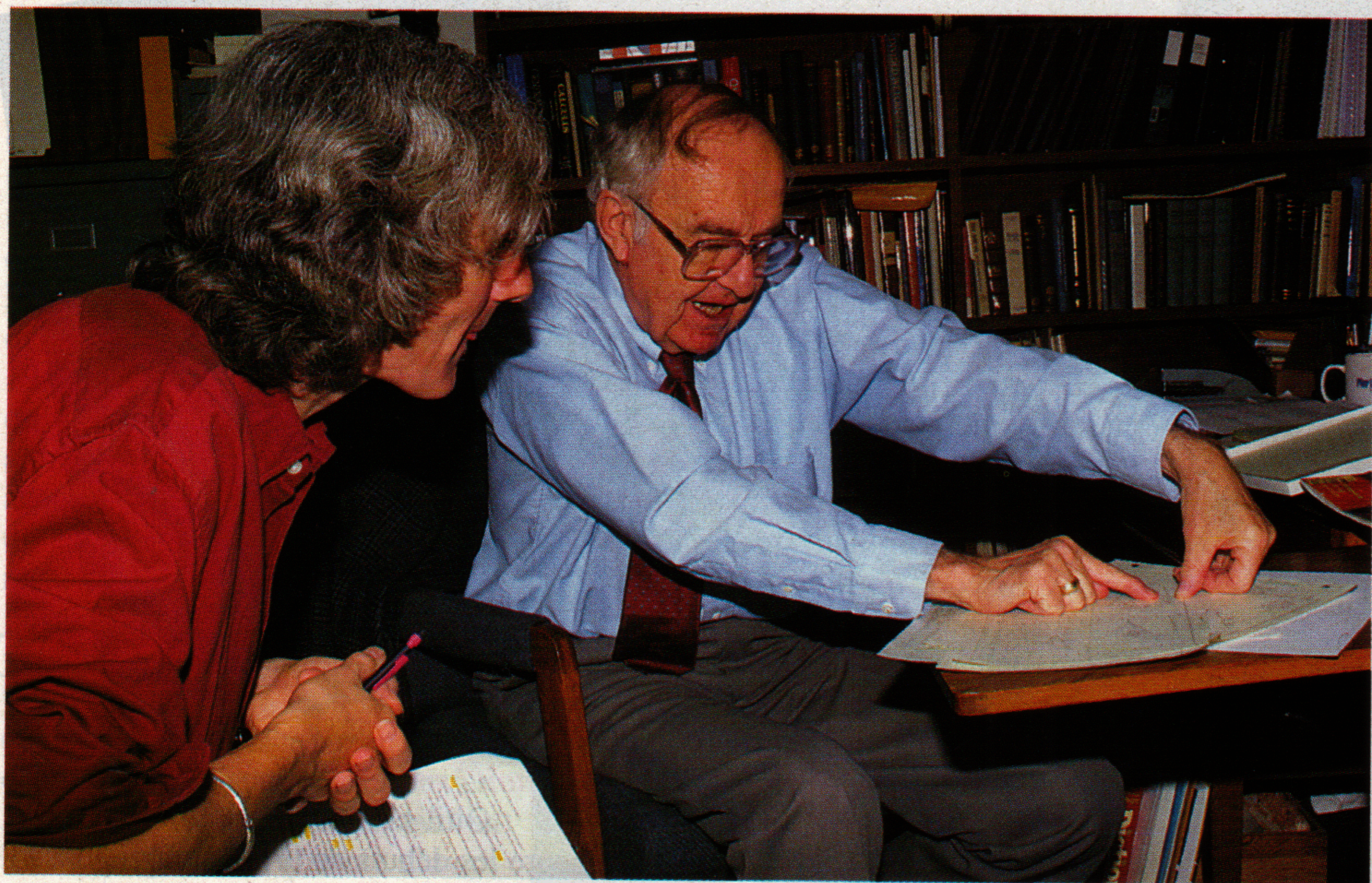
échantillon ne sera pas complet, votre moyenne sera surestimée et vous en déduirez que les objets sont plus proches qu'en réalité. Ces erreurs ont la vie dure. Aussi la convergence est-elle très lente, malgré la croissance exponentielle des publications sur  $H_0$ .

**C. et E. :** *Vous étiez beaucoup plus optimiste en 1970 lorsque vous avez publié un article intitulé "Cosmologie : la recherche de deux nombres". Pensiez-vous à cette*

d'interminables séries, très complexes à manipuler. Mais désormais, il devenait possible de calculer exactement les caractéristiques d'un astre entraîné par l'expansion à n'importe quelle distance, en fonction non seulement de  $H_0$  mais aussi de l'éventuelle accélération ou décélération de l'Univers, mesurée par le paramètre  $q_0$ . Les deux paramètres cosmologiques paraissaient à portée. Mais la réalité s'est révélée plus ardue que prévu. Nous sommes



A. Citrou/C&E



Des années de débats houleux, de controverses et de critiques en tout genre ne l'ont pas usé. Quand il s'agit de la constante de Hubble, Allan Sandage est sûr de son fait. Comme il l'explique à Jean-Marc Bonnet-Bidaud : "[G. Tammann et moi] aboutissons toujours à la même valeur de 55."

confrontés actuellement à deux difficultés majeures. Dans l'Univers très lointain, celui des quasars par exemple, il devient impossible de déterminer les distances car les astres ont tellement évolué que nous ne pouvons pas les comparer aux astres proches. Dans l'Univers local au contraire, ce sont les vitesses d'expansion qui deviennent difficiles à mesurer car elles sont brouillées par les mouvements d'agitation des galaxies qui s'attirent les unes les autres en raison de la gravitation. Les concentrations de matière dans l'Univers perturbent ainsi la régularité de l'expansion. Mais il y a néanmoins un fait remarquable : l'expansion dans notre bulle très locale semble la même que celle déterminée dans un volume plus vaste. Les mouvements désordonnés des galaxies ne suffisent donc pas à la masquer. La gravitation n'apparaît pas comme un facteur dominant. C'est un résultat étonnant.

**C. et E. : La découverte des quasars a fait naître de grands espoirs en cosmologie. Ces astres si brillants qu'ils sont visibles à travers tout l'Univers étaient tout désignés pour fournir la clé de l'expansion. Vous avez été le premier à identifier un quasar. Quel était alors votre état d'esprit ?**

**A. S. :** Ce fut une expérience assez douloureuse... J'ai effectivement été le premier, avec Tom Matthews, à obtenir en 1960 une image et un spectre de la radio-source 3C48 avec le télescope du mont Palomar. Ce spectre était tout à fait étrange, avec des raies que nous n'arrivions pas à identifier. Lorsque je l'ai montré à Jesse Greenstein, grand spécialiste

stellaire qui avait été mon professeur, celui-ci a suggéré qu'il puisse s'agir de raies d'oxygène à la surface d'une étoile. Le spectre est resté sur son bureau pendant trois ans jusqu'à ce que, en 1963, Marteen

**"Ce qui me frappe, c'est l'absence totale de révolution conceptuelle depuis 1965"**

Schmidt, observant des raies similaires dans une autre radiosource 3C273, comprit qu'il s'agissait de raies de galaxies fortement décalées vers le rouge. J'avais donc eu en main pendant trois ans une fantastique découverte sans m'en rendre compte. J'ai eu beaucoup de mal à m'en remettre. Malheureusement pour la cosmologie, les quasars ne sont pas une classe d'objets homogènes. Leur gamme de luminosité est telle qu'il est absolument impossible de déterminer leur distance à partir de leur éclat apparent. Ils ne peuvent donc pas nous renseigner sur l'expansion.

**C. et E. : Vous avez consacré une grande partie de votre vie de chercheur à la quête de ces paramètres cosmologiques et vous n'avez toujours pas la réponse. N'êtes-vous pas déçu ?**

**A. S. :** Absolument pas. Je pense que nous ne pourrions jamais déterminer la fameuse densité de l'Univers, qui pourrait nous dire quel sera le destin ultime du cosmos. Nous

sommes condamnés à emprunter de nombreuses voies sans issue, avant d'atteindre la cité d'Oz et de trouver le magicien qui se cache derrière tout cela. Nous empruntons toutes ces voies et c'est ainsi que nous découvrons des choses essentielles comme l'évolution des étoiles ou la classification des galaxies. Le questionnement cosmologique est pour moi un simple fil d'Ariane.

**C. et E. : Comment voyez-vous l'évolution de l'astrophysique dans les décennies qui viennent ?**

**A. S. :** Ce qui me frappe surtout, c'est l'absence totale de révolution conceptuelle depuis 1965. À cette date, toute l'architecture était déjà établie, l'évolution stellaire, l'âge des étoiles, la formation des éléments. Il n'y a rien eu d'équivalent depuis. Les observations sont bien sûr venues combler des vides mais certains problèmes critiques n'ont

pas du tout évolué. Prenez celui de la matière noire : il existe certes d'énormes programmes de recherche de particules exotiques mais je serais surpris que la solution vienne de là. Ou prenez celui de la formation des galaxies, qui reste le principal défi de cette fin de siècle. L'objet le plus lointain connu est une galaxie avec un décalage vers le rouge de 5,3, soit une très faible fraction de l'âge de l'Univers, mais nous ne savons toujours pas comment se forment ces galaxies dans le big bang homogène, ni comment elles évoluent.

**C. et E. : Pensez-vous que la cosmologie soit une véritable science ?**

**A. S. :** Je ne me considère pas comme un véritable cosmologiste. Sur les trois questions clés "Où, quoi et pourquoi ?", je pense que la science ne peut répondre qu'aux deux premières. En ce sens, je suis davantage un géographe qui cherche à décrire l'état du monde qu'un historien qui veut en connaître les raisons. Jeune, j'étais persuadé que la science pouvait apporter toutes les réponses, mais l'expérience montre que la question du "pourquoi" n'est pas de son domaine. La science ne nous donnera jamais "la" vérité — seulement une vérité probable. C'est une démarche particulière que la sienne, car elle ne peut progresser qu'en démontrant qu'elle est dans l'erreur. Voilà qui devrait nous ramener à l'humilité de Hubble lorsqu'il déclarait : "D'ici, nous mesurons des ombres et nous recherchons parmi les fantômes de nos erreurs des points de repères qui sont à peine plus substantiels." ■

(1) Voir l'article consacré au télescope de 5 m du mont Palomar, page 68 dans ce numéro.