

Quasars : le moment de vérité

David Cherry

Les quasars sont des « stars » sans être des étoiles. Selon l'histoire officielle, Allan Sandage fut, en 1963, le premier astronome à « capturer » un quasar mais personne ne comprit alors ce dont il s'agissait. Son spectre, mesuré à plusieurs reprises, restait indéchiffrable. Finalement, son collègue de Caltech, Maarten Schmidt, peinant pour déchiffrer le spectre d'un autre quasar, se rendit compte qu'un groupe familier de lignes caractéristiques de l'hydrogène était présent, bien que fortement décalé vers le rouge.

En réalité, ce fut Fritz Zwicky, également de Caltech, qui le premier remarqua des quasars, et plusieurs de leurs décalages vers le rouge avaient déjà été identifiés, lorsque Sandage annonça sa découverte¹.

Quand l'effervescence initiale autour du travail de Sandage, Zwicky et Schmidt se fut calmée, il devint clair qu'une nouvelle classe d'objets venait d'être découverte, objets avec de grands décalages vers le rouge des émissions non-thermiques, et plus d'ultraviolets dans leur lumière que n'importe quelle étoile. De plus, contrairement à la plupart des étoiles, l'émission d'énergie de ces objets était très instable. Elle pouvait augmenter ou diminuer en l'espace de quelques jours — ou en un mois ou une année. Les quasars pouvaient émettre, ou non, des ondes radios et des rayons X.

Le modèle standard

Quel sens donner à toutes ces données ? Le décalage vers le rouge ne

Le télescope spatial Hubble a été braqué sur 14 des quasars les plus brillants que l'on connaisse. Ceci eut pour résultat le discrédit définitif du modèle standard de quasar — modèle pourtant admis depuis 30 ans.

D'un autre côté, elles tendent à confirmer les théories de Victor Ambartsumian et de Halton Arp.

pouvait signifier qu'une chose : les quasars s'éloignaient de nous à très grande vitesse, conformément à la théorie de l'expansion de l'univers, ou du moins presque tout le monde était d'accord là dessus. D'aussi grands décalages vers le rouge — selon cette interprétation — signifiaient aussi que les quasars devaient être extrêmement éloignés de nous. Cependant, malgré de telles distances, ils étaient souvent très brillants. Leur luminosité (énergie) intrinsèque devait donc être très grande.

La rapide variabilité de certains quasars brillants, conduisit à la conclusion que cette énorme quantité d'énergie devait être éjectée d'objets de dimensions physiques relativement modestes. L'argument sous-jacent est qu'un objet dans son ensemble, ne peut pas voir varier ses émissions plus vite que le temps requis par un changement interne pour se propager à travers cet objet — à la vitesse de la lumière. Cet argument, tiré des manuels scolaires de physique (galiléenne) bien que faux, fait autorité et conditionne le débat sur les quasars².

Les quasars devraient émettre de 10 à 100 fois l'énergie d'une galaxie entière telle que la voie lactée, mais — selon la physique des manuels — cette énergie devrait provenir d'une zone d'un diamètre de seulement un millionième de notre galaxie (pas plus d'un dixième d'année-lumière). Pour certains quasars, d'après ce calcul, on se trouvait confronté au paradoxe suivant : comment une si grande quantité d'énergie peut-elle s'échapper d'objets aussi petits, sans les anéantir ?

Tout d'abord, comment une aussi grande quantité d'énergie peut-elle être produite ? On considère généralement que l'énergie des étoiles a pour origine la fusion nucléaire, mais même la fusion n'est pas assez efficace pour expliquer le phénomène des quasars. Le modèle le plus simple fut de supposer que les quasars sont des débordements d'énergie résultant de l'implosion de matière galactique sur un trou noir au centre de la galaxie en question. Bien que les trous noirs — ces constructions théoriques — ne laissent aucune lumière s'échapper, l'implosion elle-même provoquerait

d'intenses émissions de lumière à une distance suffisante du seuil du trou noir.

Le modèle du trou noir présente l'avantage de résoudre le problème d'une intense émission d'énergie depuis un petit objet (du moins dans le sens d'une solution mathématique congruente à la physique des manuels).

Mais alors, où était la galaxie dont le quasar serait le noyau supposé ? Des traînées de matière étant détectées autour de certains quasars, l'on concluait qu'elles faisaient partie du centre de la galaxie mais que la luminosité intense du quasar masquait simplement le reste. On ne trouva pas dans les limites de la physique d'Einstein, d'autre mécanisme pour expliquer une si prodigieuse production d'énergie.

C'est ainsi que se constitua le modèle standard du quasar, avec de très sérieux problèmes relégués au rang de petites notes de bas de page. On répugna à franchir l'étape salutaire qui consiste à admettre sa propre ignorance. La science souffrit de cette soumission des astronomes à un phénomène de mode.

Des années plus tard, un autre problème sérieux concernant les mécanismes de production d'énergie se cristallisa. Le spécialiste des quasars, Daniel Weedman, écrivit en 1988 : « *Aucun des modèles de trou noir ne peut permettre suffisamment de prévisions pour conduire à de véritables tests d'observation. En fait les premières observations qui conduisirent à l'élaboration du modèle de trou noir s'avèrent en contradiction avec ses prévisions théoriques* »³. Cependant, cette remarquable anomalie ne semble pas avoir porté ombrage à la popularité du modèle.

Les observations de Hubble

En 1994 — cela faisait trois décennies que la nature des quasars semblait établie pour de bon — John Bahcall, de l'Institut des Etudes Avancées de Princeton, et ses collègues⁴

profitèrent des possibilités longtemps attendues du télescope spatial Hubble pour étudier 14 quasars de plus près. En janvier 1995, lors d'une conférence de la Société Américaine d'Astronomie à Tucson, Bahcall présenta ce qu'ils avaient découvert.

Il annonça que 11 des 14 quasars n'avaient pas de galaxie dans leur environnement et que seulement 3 présentaient des galaxies environnantes modérément brillantes. L'un des 11 était accompagné d'une matière à peine visible, ce qui signifiait que Hubble était en mesure de détecter de la matière proche d'un quasar, s'il y en avait.

« *Nous avons été choqués en les voyant* », déclara Bahcall à propos des quasars « nus ». « *Ce n'est dans la théorie de personne... la seule chose que je puisse dire c'est : "D'où viennent-ils ?"* ». Donald Schneider, un autre chercheur, fit le commentaire suivant : « *C'est le fait le plus énigmatique que je n'ai jamais analysé* ». Bahcall ajouta : « *C'est un gigantesque bond en arrière sur notre compréhension des quasars...* »⁵.

La théorie de personne ?

John Bahcall ne peut pas ignorer de qui est la théorie qui depuis des années considère que les quasars sont les précurseurs des galaxies — théorie prévoyant donc l'existence de quasars avec ou sans galaxie environnante. Bahcall a présidé le Comité d'enquête en Astronomie et Astrophysique de 1989-1991 du Conseil National de la Recherche, qui avait été créé pour planifier les activités futures dans ce domaine. Cela signifierait une grave lacune dans ses connaissances s'il l'eût ignoré. Voyons plutôt qui est ce « personne » sensé n'avoir élaboré aucune théorie.

Avant même que des quasars aient été identifiés, Victor Ambartsoumian, fondateur et premier directeur de l'Observatoire d'Astrophysique de Byurakan, en Arménie, et membre de l'Académie Soviétique des Sciences, avait développé une théorie des ty-

pes d'activité au sein des noyaux galactiques. Selon cette théorie, des éjections explosives de matière « préstellaire » issues des noyaux seraient les germes à partir desquels se formeraient de nouvelles galaxies.

La théorie de Ambartsoumian fut d'autant plus mal accueillie dans le milieu de l'astronomie académique, qu'elle rejetait le concept dominant selon lequel condensation gravitationnelle et effondrement serait la règle générale de l'univers. Au contraire, c'est en remarquant que les processus que nous observons sont la diffusion, l'explosion et l'éjection, qu'il démarra ses travaux théoriques dans les années 1930 et 1940. Il disait que la direction générale de l'évolution astrophysique va des états les plus denses aux plus diffus⁶.

Le travail d'Ambartsoumian n'était certainement pas secret. Outre une présentation sur l'évolution des galaxies à la conférence de physique de 1958 du célèbre Institut Solvay de Bruxelles, et une invitation pour un discours sur les problèmes de recherche intergalactique à l'assemblée générale de l'Union Astronomique Internationale de Berkeley en 1961, Ambartsoumian devint le président de cette dernière association de 1961 à 1964.

Aujourd'hui, il est toujours vrai que ce que ce nous observons est diffusion, explosion et éjection. En 1988, des astronomes voulant observer le processus de condensation gravitationnelle dans la naissance d'étoiles, ont du rapporter qu'« *aucun objet n'a été identifié de manière concluante, dans le processus véritable de formation stellaire (...). L'identification sans ambiguïté d'un tel objet protostellaire reste (...). cruciale (...). C'est un test capital pour nos conceptions théoriques actuelles. Cela requiert la détection directe d'un mouvement d'implosion (...). Pendant la dernière décennie beaucoup d'observations de lignes d'ondes millimétriques de molécules ont été faites sur des candidats protostellaires (...). cependant, ces études ont produit un résultat inattendu : la plupart des objets sources d'infrarouges sont des débordements d'énergie sous forme de gaz moléculaire plutôt que des implosions. La preuve convaincante*

de mouvements d'implosion autour de protoétoiles infrarouges a jusqu'à maintenant échappé à toute détection. »⁷.

Les quasars selon Ambartsoumian

Lorsque l'on découvrit les quasars, Ambartsoumian fit l'hypothèse qu'ils étaient l'un des types d'éjection explosive qui donnent naissance à de nouvelles galaxies. Dans *Problèmes de cosmogonie moderne*, écrit en 1969 par Ambartsoumian et ses étudiants, on peut lire :

« Finalement, aux formes d'activité des noyaux [galactiques] dont il a été question précédemment, l'on doit ajouter les explosions, et ceci nous conduit à la formation de quasars. En échelle et en magnitude, ces explosions dépassent toutes les autres formes d'activité du noyau, et indiquent la formation d'une nouvelle galaxie, ou même d'un groupe de galaxies ou d'un amas galactique... »⁸.

En tant qu'éjection de noyaux galactiques, les quasars ne seraient pas dès l'origine entourés par une galaxie, celle-ci se développerait plus tard. Ce que Bahcall et ses collègues ont observé en janvier 1995 — certains quasars entourés par une galaxie, d'autres non — était prévu par la théorie d'Ambartsoumian. Bien entendu, la découverte ne prouve pas par elle-même la théorie.

Cependant, la théorie d'Ambartsoumian sur l'activité du noyau galactique ne fut que le commencement. Au-delà des années 1960, Ambartsoumian cessa de la développer. Au début de 1966, l'astronome américain Halton Arp, appartenant alors à l'équipe de l'observatoire de Palomar en Californie, émit de manière indépendante l'hypothèse que des corps lumineux, y compris les quasars, étaient éjectés par des noyaux galactiques et constituaient le cœur de nouvelles galaxies. Cette idée se développa à partir de l'étude d'images pour son *Atlas de galaxies particulières*, qu'il venait d'achever de rassembler. Arp pris par la suite connaissance du travail d'Ambartsoumian⁹.

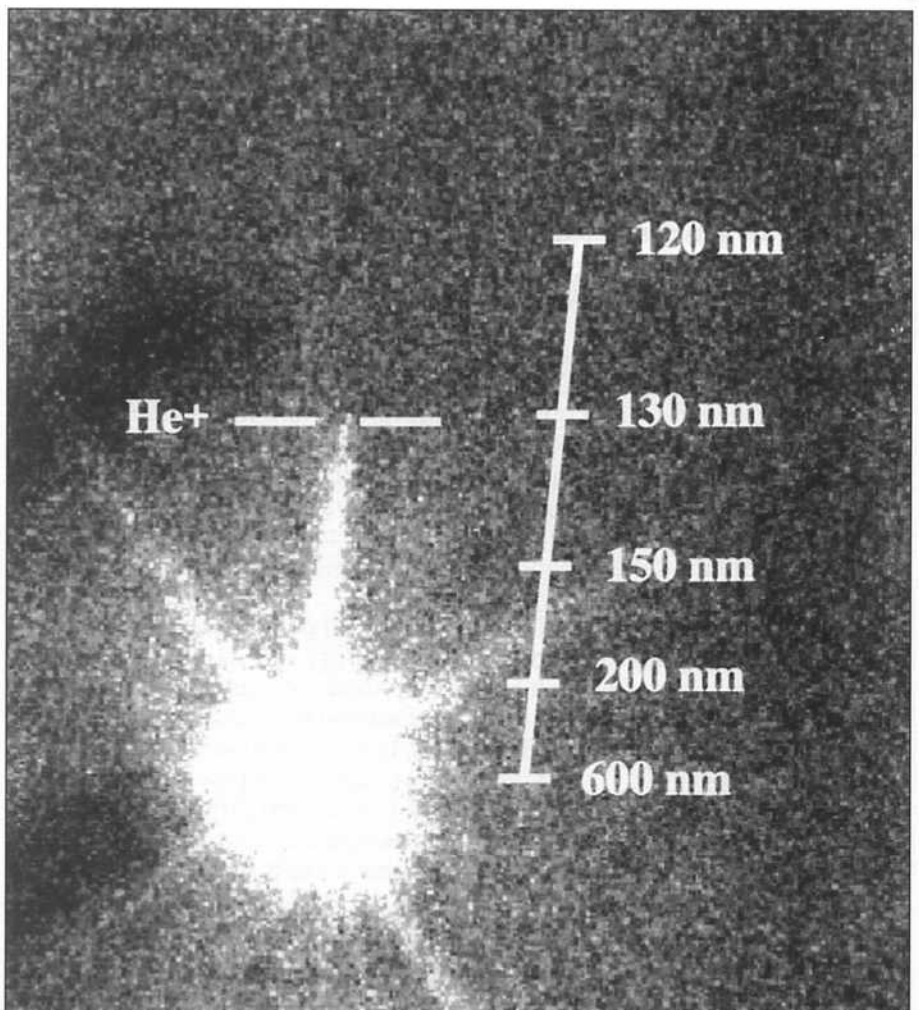


Image de QO302-003 prise par la Faint Object Camera.

Si les quasars ne sont pas si éloignés, alors leur luminosité intrinsèque est moins extraordinaire.

Arp se demanda où nous voyons les quasars dans le ciel. Si les quasars étaient toujours aux distances indiquées par leur décalage vers le rouge, ils seraient concentrés dans les régions où l'on trouve les amas galactiques distants. Ce n'est pas le cas. Il se dit aussi que si les quasars sont toujours à la distance déduite du décalage vers le rouge, alors, en moyenne, les quasars les moins brillants devraient avoir les plus grands décalages vers le rouge — c'est-à-dire qu'ils devraient produire un diagramme Hubble linéaire ou quasi linéaire, de la même manière que les galaxies. Mais en mettant en relation la luminosité des quasars avec leur décalage vers le rouge sur un diagramme, on démolit cette supposition.

Conclusion : le décalage vers le rouge n'est pas un indicateur fiable

de la distance des quasars. Ceux-ci doivent par conséquent tirer d'une certaine propriété qui n'est pas liée à la distance, une partie de l'explication de leur décalage vers le rouge.

Conclusion suivante : sans la gêne provoquée par l'utilisation abusive du décalage vers le rouge en tant que mesure de distance, le paradoxe d'une trop grande quantité d'énergie émise par un trop petit objet, peut être résolu en « rapprochant les quasars » (ici encore, la contradiction n'était qu'apparente, mais elle était considérée comme réelle autant par Arp que par ses contradicteurs). Si les quasars ne sont pas si éloignés, alors leur luminosité intrinsèque est moins extraordinaire.

Mais si les quasars étaient plus près, comment prendraient-ils place

dans l'ensemble ? Si les quasars étaient éjectés des noyaux galactiques, l'on devrait en trouver en plus grand nombre au voisinage immédiat des galaxies. Les quasars, suffisamment brillants pour être facilement détectés, devraient être fortement concentrés autour des galaxies les plus proches. Est-ce le cas ? Par un âpre combat qui dura 20 ans, Arp montra que oui.

Ce succès vint en plusieurs étapes¹⁰. Tout d'abord, l'on concéda qu'il y avait un excès apparent de quasars brillants autour des galaxies proches, mais que ceci s'expliquait comme le résultat d'un effet de « lentilles gravitationnelles » sur des quasars se trouvant en arrière plan — effet provoqué par des étoiles pâles dans le halo sphérique autour des galaxies : la luminosité des quasars serait rendue plus intense par cet effet, celui-ci n'étant pas assez fort pour créer une image double. Ce phénomène affecterait le comptage des quasars brillants, en faisant passer dans cette catégorie plusieurs quasars pâles.

Ainsi, de zélés astronomes (n'ayant aucune sympathie pour les théories de Arp) cherchèrent un test rigoureux pour prouver la possibilité d'obtenir au cours d'observations et de comptages, un nombre nécessairement excessif de quasars apparemment brillants autour de certaines galaxies — excès dû à un effet lentille. Ils montrèrent que pour produire cet effet, il devrait y avoir dans le décompte des quasars en fonction de leur luminosité, une augmentation rapide du nombre, en allant vers les magnitudes les plus faibles. Cependant, ils ne trouvèrent jamais une telle augmentation.

Une nouvelle tentative confirma l'excès de quasars autour des galaxies avec « un niveau de confiance supérieur à 99,99% », mais ressuscita la thèse de l'effet de lentille, par invocation de matière noire dans les halos sphériques autour des galaxies. Il s'agit d'une matière hypothétique qui ne rayonne pas suffisamment pour être vue, mais qui peut être connue par ses effets gravitationnels.

Une fois encore, cette hypothèse fut attaquée par des astronomes qui

n'aimaient pas les hypothèses d'Arp, mais qui avaient des connaissances détaillées sur le comportement dynamique (gravitationnel) des galaxies. Ils conclurent que la matière noire requise « serait beaucoup trop près des parties lumineuses de la galaxie pour que cela soit cohérent avec d'autres mesures dynamiques des masses ». En d'autres termes, si la matière noire était là, elle aurait un effet gravitationnel sur la matière visible — effet que personne n'observa. Ces astronomes conclurent que « par une compréhension conventionnelle des systèmes galactiques, nous ne pouvons trouver aucun modèle pour expliquer la grande augmentation » du nombre de quasars au voisinage des galaxies.

En dépit de ce succès pour l'hypothèse d'Arp, celle-ci fut de nouveau contournée sur un autre front. Les astronomes mirent en avant le « flou » que l'on peut voir autour de certains quasars. Sur cette base, l'on prétendit que lorsque l'on disposerait de télescopes suffisamment puissants, on se rendrait compte que les quasars sont tous des noyaux galactiques. (Pour couronner le tout, on affirma que, du fait que tous les quasars sont des noyaux galactiques, et du fait que les galaxies se trouvent à la distance déduite du décalage vers le rouge — ce qui n'est pas entièrement vrai — alors il devait en être de même pour les quasars.)

On insista beaucoup sur le passage du « flou » à la supposée galaxie environnante, en dépit du fait que Arp montra que dans certains cas, les dimensions de ce flou étaient bien supérieures à celles de galaxies normales (dans le cadre des hypothèses conventionnelles sur la distance des quasars). Il remarqua aussi qu'il n'y avait pas de preuve spectroscopique de l'existence d'étoiles dans ce flou ; or l'on serait en droit d'attendre d'une galaxie qu'elle eut des étoiles¹¹.

Plus tard, l'hypothèse généralement admise fut que toutes les galaxies s'étaient formées pendant une seule phase de l'explosion du Big Bang. Ceci mit l'idée de quasars éjectés évoluant en galaxie — et continuant à le faire aujourd'hui — en désaccord avec la théorie du Big Bang presque universellement reconnue¹².

En somme, l'état des lieux aujourd'hui en est au point suivant : (1) il y a de bonnes raisons de penser que les quasars ne sont pas toujours à la distance déduite du décalage vers le rouge ; (2) il est clair qu'il y a trop de quasars autour des galaxies pour que l'on puisse parler de hasard ; (3) les observations de Bahcall — montrant que certains quasars sont les noyaux de galaxies et que d'autres sont « nus » — sont cohérentes avec le concept de quasars en tant que germes éjectés qui plus tard deviendront des noyaux de galaxies.

Un moment de vérité

Il est mesquin de la part d'un scientifique de nier le travail d'un collègue ou d'un prédécesseur¹³. Malheureusement, cette pratique est largement répandue dans la science d'aujourd'hui, et de telles indécidables appartiennent à une vieille tradition qui remonte à Newton et Galilée. Mais souvent, il y a là plus qu'une simple affaire de promotion personnelle. Il y a, derrière un abus de confiance en soi, une affaire plus sérieuse d'entrave au processus de découverte scientifique.

Pour comprendre cela, considérons notre exemple. Ambartsoumian et Arp développent une théorie très originale sur le comportement des noyaux galactiques incluant certaines prévisions sur les quasars. La théorie provient de l'élaboration d'une méthode impopulaire qui donne la priorité à l'observation astronomique et aux idées suggérées par l'observation, et qui ne donne pas la priorité à la théorie d'Einstein, ni aux limites des résultats de la physique terrestre. Aussi bien la méthode que la théorie ne peuvent être acceptées par les mandarins du domaine.

Cependant, une prévision cruciale de la théorie s'avère correcte. Que faire ? Le remède à cela le plus couramment mis en pratique, consiste à incorporer de force le fait indéniable dans la théorie favorite qui ne l'avait pas prévu, tout en ignorant la théorie

qui l'avait prévu. (En effet, typique de ce point de vue, Bahcall a l'air de considérer que les quasars sont des germes de galaxies qui parfois émergent brusquement, dans leur état hautement compact, du gaz primordial de l'explosion du Big Bang). L'utilisation répétée de ce raccomodage

a cependant un effet dévastateur sur l'esprit de ceux qui s'y soumettent.

L'ami d'Ambartsoumian, feu Jan Oort, directeur de l'observatoire de Leyden, qui n'a jamais souscrit à la méthode ni aux théories de Ambartsoumian, disait néanmoins : « J'ai ces-

sé d'être surpris de voir comment toutes les hypothèses qu'Ambartsoumian a émises il y a plusieurs années auparavant, sont confirmées les unes après les autres »¹⁴.

N'est-il pas temps de se demander pourquoi c'est le cas. ■

Notes

1. Dennis Overbye, *Lonely Hearts of the Cosmos — The scientific Secret of the Universe* (New York : Harper Collins, 1991, pp79-82).

2. En réalité, cet argument est faux car nous ne pouvons pas supposer que les variations des quasars soient contrôlées par quelque chose de lié à la vitesse de la lumière, pas plus que nous ne connaissons la limite supérieure de la vitesse de la lumière à l'intérieur d'un quasar.

3. Pour plus de détails, voir Daniel Weedman, 1988, « Quasars : A Progress Report », *Mercury* (Jan-Fév), pp12-17.

4. Donald Schneider, Pennsylvania State University, and Sofia Kirhakos, Institute for Advanced Study at Princeton.

5. Kathy Sawyer, « A Galactic 'Smoking Gun' », *Washington Post*, 13 jan. 1995 p2 et le communiqué de presse du Space Telescope Science Institute d'avril 95 ; le communiqué de presse dit qu'« aucun modèle actuel ne prédit... ».

6. Pour une vue d'ensemble des travaux de Ambartsoumian sur l'origine des étoiles, voir Ludwig V. Mirzoyan, « The Origin and Evolution of Stars : An Observational Approach », *21st Century*, hiver 1991, pp.43-51. Pour ses travaux sur les étoiles et les galaxies, voir « The Problem of Protostellar Matter » du même auteur, *21st Century*, automne 1994, pp.68-74.

Cependant rien ne vaut la lecture des écrits de Ambartsoumian lui-même. Un nombre significatif d'entre eux sont en anglais et cités en référence dans ces articles de *21st Century*. Il n'est pas partisan du Big Bang, ni de la cosmologie de l'univers stationnaire, les deux étant pour l'essentiel des développements mathématiques de la relativité généralisée et, à son avis, insuffisamment basés sur l'observation.

7. D'après une présentation datant de début 1988 (§2.3.1.) sur les missions et sur la technologie du télescope submillimétrique Heinrich Herz du mont Graham en Arizona, aujourd'hui achevé. En septembre 1993, l'astronome John Bieging du télescope Herz a confirmé à l'auteur que l'état des connaissances en est toujours à ce point.

Richard N. Thomas et ses collègues sont d'accord : « Malheureusement pour de telles conjectures, les modèles d'implosion de masse ne donnent pas une bonne représentation des émissions importantes et variables de particules alpha caractéristiques des étoiles [de type T Tauri]... Les auteurs du chapitre 4 de ce volume 7 [Lawrence E. Cram et Leonard V. Kuhl]... concluent que les observations sont mieux représentées par un débordement de masse... compte tenu de mes propres efforts pour modéliser les atmosphères des T Tauri, je suis d'accord avec eux. » Les T Tauri sont supposées être des étoiles en processus de formation. La citation est de « Perspective » de Thomas qui ouvre *FGK Stars and T Tauri Stars* (Volume 7 des séries de monographies de la NASA et du CNRS sur les phénomènes non-thermiques dans les atmosphères d'étoiles, édité par Lawrence E. Cram et Leonard V. Kuhl, NASA SP-502, 1989).

8. Ce travail est disponible en russe, en allemand et en français. Le passage cité ici, est traduit de l'allemand — seconde édition de 1976 (*Probleme der modernen Kosmogonie*) Sec. 2.3, p.115.

La plus grande partie de l'argumentaire d'Ambartsoumian dans ce texte est présentée ou au moins clairement évoquée dans sa publication en langue anglaise : « On the Nuclei of the Galaxies and their Activities » dans *Proceedings of the 13th Conference of the Solvay Institute*, Bruxelles, Sept. 1964 (New York : Wiley Interscience, 1965).

9. Halton Arp, 1987, *Quasars Redshifts and Controversies* (Berkeley, Californie : Interstellar Media), pp7-16, 134-135.

10. L'histoire de l'effet de lentille qui suit, est décrite plus en détails et avec des références dans « Why Are There More Quasars Around Nearby Galaxies ? » de David Cherry, *21st Century*, automne 1991, pp.78-82. L'article rapporte un nouveau type de preuves développées par Arp.

11. Arp résume ces arguments, et d'autres issus d'observations, contre l'omniprésence de galaxies hôtes — arguments connus longtemps avant les nouveaux travaux sur Hubble — dans « Naked Quasars », *Mercury* (Journal of the Astronomical Society of the Pacific), Mars-Avril 1995, p35.

12. Donald Hamilton, 1985, « The Spectral Evolution of Galaxies. 1. An Observational Approach », *Astrophysical Journal*, vol.297, pp.371-389.

13. Pour que Bahcall n'ait pas eu connaissance de la théorie Ambartsoumian-Arp, non seulement il aurait dû manquer de nombreux articles d'Ambartsoumian et d'Arp, mais aussi un nombre considérable d'articles — émanant plus particulièrement d'opposants à cette théorie qui soutenaient l'effet de lentille sur les quasars au voisinage des galaxies brillantes — dans *The Astrophysical Journal*, *Astronomy and Astrophysics* et *Nature*, au cours des années 1980 jusque dans les années 1990 (voir la note 10 pour les références). Mais Bahcall avait étudié l'effet de lentille et lu un texte sur ce sujet au cours d'une conférence de l'American Astronomical Society à Tucson en janvier 1995.

Bahcall aurait dû aussi fermer les yeux sur le livre de Arp, *Quasars, Redshifts and Controversies*, (voir note 9) lu par plus d'un astronome à la lampe de poche sous les couvertures ; le chapitre Quasar issu d'une importante et récente collaboration entre Russes et Américains, *Astrophysics on the Threshold of the 21st Century*, édité par N.S. Kardashev (Philadelphia : Gordon and Breach, 1992) ; et de nombreux autres livres et articles.

Par ailleurs, deux participants à la controverse sur la théorie des quasars d'Ambartsoumian et d'Arp, Claude Canizares et Wallace Sargent, étaient membres du Comité d'Enquête en Astronomie et Astrophysique du Conseil National de la Recherche en 1989-1991, que Bahcall présidait.

Finalement, il aurait dû également oublier son propre débat avec Arp, le 30 décembre 1972, à la conférence de l'Association Américaine pour le Progrès de la Science à Washington D.C. qui fut publié dans *The Redshift Debate*, édité par Georges Field (Reading, Mass. : W.A. Benjamin, 1973).

14. Cité de la page de garde de la biographie en langue russe, *Victor Ambartsoumian*, par Ludwig V. Mirzoyan (Erevan, Arménie : Aïastan, 1985).