

**SOCIETE
ASTRONOMIQUE
DE LYON**



REVUE TRIMESTRIELLE

Nouvelle série — N° 13 — 1978

Omission au bulletin n° 12

Dans le bulletin n° 12, le nom de l'auteur de l'article «Panorama de l'astronomie antique» a été omis ; il s'agit de M. H. Andriolat, Professeur à l'Université des Sciences et Techniques du Languedoc.

Notre couverture :

Messier 13 (NGC 6205) : amas globulaire dans la Constellation d'Hercule. Distance : environ 27 000 années lumière.

Photographie donnant une idée du nombre d'étoiles appartenant à cet amas globulaire. Les étoiles les plus faibles ont 3/100 de mm de diamètre sur le cliché original. Au centre, elles sont trop nombreuses pour être séparées. Masse : 300 000 fois la masse du Soleil.

On estime le nombre total des étoiles d'un tel amas à 200 000.

Ces amas sont les objets les plus vieux que nous connaissions dans notre Galaxie. Les étoiles ont probablement épuisé la plus grande partie de leur hydrogène qui leur a servi de carburant nucléaire.

Photographie prise au télescope de 120 cm de l'Observatoire de Haute Provence et publiée avec l'aimable autorisation de M. Charles Fehrenbach, directeur de l'Observatoire de Haute Provence.

LE CALENDRIER ou DE L'ASTRONOMIE DANS LA VIE QUOTIDIENNE

Jean-Louis HEUDIER
Observatoire de Nice et C.E.R.G.A.

Notre vie est rythmée par des phénomènes qui nous sont totalement étrangers et sur lesquels nous n'avons aucun pouvoir : l'alternance des jours et des nuits, le manège des saisons, la succession des constellations nous sont imposés par les mouvements de la Terre. Les phases de la Lune jalonnent imperturbablement ces successions. Parfois, un phénomène vient troubler cet ordre apparemment immuable : une éclipse altère le rythme diurne, une comète apparaît, modifiant l'image du ciel.

L'Homme a passé de longs siècles à tenter de maîtriser ces rythmes et à trouver des explications à ces phénomènes. Les différentes étapes de ce long cheminement ont marqué notre culture et on en trouve encore de nombreuses traces dans notre vie quotidienne : notre calendrier n'est-il pas à la fois un outil d'une étonnante précision permettant de compter les jours et rythmer les saisons sur plusieurs milliers d'années et un ramassis de nombreuses incohérences que nous avons adoptées par la force des choses mais dont nous avons souvent oublié l'origine. Mais, d'où vient-il ? ...

Les premières civilisations qui aient développé un calendrier l'ont fait pour des raisons vitales : en Mésopotamie, le Tigre et l'Euphrate sortaient régulièrement de leur lit. En Egypte, la crue du Nil dirigeait la vie agricole et sociale, il était donc nécessaire de trouver un moyen permettant de se situer dans le temps par rapport à ces phénomènes..., de mesurer la durée de l'année. Initialement, il semble bien que les phases de la Lune aient été utilisées pour mesurer le temps : la durée du cycle lunaire a donné le mois et il semblait tout naturel d'utiliser cette horloge visible de tous... malheureusement, si le calendrier lunaire est parfaitement adapté pour compter les jours et les mois, il ne l'est pas du tout pour mesurer la durée de l'année, il n'y a pas un nombre entier de cycles lunaires, de mois lunaires, dans une année tropique, c'est-à-dire dans l'intervalle de temps que dure un tour complet de la Terre autour du Soleil. Pourtant, l'intérêt de tels calendriers est grand : les mois sont «naturels» commençant à la nouvelle Lune. Le 15 est le jour de la pleine Lune, il suffit de regarder le ciel pour connaître la date.

Quelques chiffres :

l'année tropique dure 365,24220 jours en moyenne
le mois lunaire dure 29,530508 jours ;

l'année contient donc douze lunaisons et 10,875 jours. Afin de faire coïncider la durée du mois avec la réalité du cycle lunaire, une alternance de mois de 29 et 30 jours fut créée. On voit que, si par une première approximation on peut dire que l'année vaut douze mois lunaires, un calendrier fonctionnant sur ce principe est en avance de près de 11 jours par an... la coïncidence entre mois et saisons n'est pas respectée, en trois ans le décalage est d'un mois complet !

Pour éviter cette difficulté tout en conservant le mois lunaire, les Chaldéens ont inventé l'intercalation d'un mois supplémentaire tous les trois ans, cette intercalation était, en fait, liée à la présence dans le ciel de certaines constellations : à chaque mois était rattaché le lever héliaque (c'est-à-dire la visibilité le matin, juste avant le lever du Soleil) de quelques étoiles. Si ces levers héliaques tombaient le mois voisin, il était temps de réajuster le calendrier, d'intercaler un mois supplémentaire.

«Dilgan (le Bélier) doit effectuer son lever héliaque au mois de Nisannue. Quand il n'en sera pas ainsi, le mois sera changé».

Les problèmes sociaux liés à ces intercalations étaient parfois grands mais les pouvoirs de l'époque, s'ils ne maîtrisaient pas très bien la chose scientifique, avaient une parfaite connaissance des réalités économiques.

«Hammonabi à son ministre Sin Indinnani : l'année est hors de place. Fais enregistrer le prochain mois sous le nom Ululu bis. Le paiement des impôts au lieu de se terminer le 25 Tassitu devra se terminer le 25 Ululu bis».

Le calendrier hébreu ressemblait fort au calendrier Chaldéen, toutefois le système d'intercalation était différent et a des répercussions importantes sur notre propre calendrier :

Le 14 Nisan, l'agneau pascal était immolé et la fête de Pâques commençait le 15, le 16 Nisan était le jour de l'offrande des orges germées.

Pour que la fête fût possible, il fallait donc que les orges fussent bonnes à couper en Palestine pour le 16 Nisan. Si ce n'était pas le cas, le mois précédent était doublé. C'est donc en utilisant en fait directement les saisons que les Hébreux ajustaient leur calendrier.

Les Egyptiens, eux, rompirent très tôt le calendrier lunaire et tentèrent d'organiser un calendrier solaire, basé sur la durée de l'année tropique. Contrairement aux autres qui respectaient le nombre de jours du mois lunaire par l'alternance de mois longs et courts de 29 et 30 jours, les Égyptiens créèrent 12 mois de 30 jours auxquels ils ajoutaient 5 jours hors mois en fin d'année : les jours épagomènes. Leur année durait donc 365 jours, ce qui est une bonne approximation, mais une approximation insuffisante si l'on veut utiliser un calendrier longtemps. Or les Egyptiens l'utilisèrent plus de 4 000 ans... peu à peu, le calendrier se dérègle et ne «colle» plus aux saisons ; il fallait utiliser un stratagème en dehors du calendrier qui fixait les fêtes religieuses, pour organiser la vie sociale en particulier prévoir les crues du Nil et la saison des semailles. C'est encore en utilisant le lever héliaque de Sirius correspondant approximativement au début de la crue du Nil.

Ce calendrier égyptien dérivant d'un jour tous les quatre ans, est appelé le calendrier vague, il joue aussi un rôle important dans notre culture, nous y reviendrons, le décalage s'annulant progressivement, en 730 ans le calendrier a dérivé de six mois, en 1461 tout rentre dans l'ordre, cette période de 1461 est appelée période sothiaque, des fêtes somptueuses marquaient la fin d'une période sothiaque qui voyait, en fait, la concordance du calendrier religieux et du calendrier réel, lié au lever héliaque de Sirius, à la crue du Nil. Il y eut trois périodes sothiaques : le calendrier vague fut utilisé plus de 4 000 ans. La dernière de ces périodes s'acheva en 129 de notre ère dans la liesse générale.

Le défaut du calendrier vague est évident ; très vite les Égyptiens connurent une meilleure durée de l'année. Ptolémée III Ervegète essaya d'ajuster le calendrier par adjonction d'un jour intervalaire tous les 4 ans en 238 avant J.C., mais les croyances populaires furent plus puissantes et on continua à utiliser le calendrier vague pendant plusieurs siècles.

Notre calendrier actuel dérive du calendrier romain. Initialement, le calendrier de la Rome primitive, calendrier dit de Romulus, était fort bizarre et fort peu précis : dix mois et seulement 304 jours mais, pour aussi peu précis qu'il fut, ce calendrier nous a légué beaucoup de choses... l'année s'organisait selon le schéma suivant :

Martius	31 jours	Sextilis	30 jours
Aprilis	30 jours	September	30 jours
Maius	31 jours	October	31 jours
Junius	30 jours	November	30 jours
Quintilis	31 jours	December	30 jours

304 jours

Un tel calendrier est peu utilisable, les saisons se décalant de deux mois tous les ans, très vite (vers 600 avant J.C.), on ajouta deux mois supplémentaires à la fin de l'année, après December, Januarius et Februarius : l'année dure alors 354 jours organisés selon le schéma suivant :

Martius	31 jours	September	29 jours
Aprilis	29 jours	October	31 jours
Maius	31 jours	November	29 jours
Junis	29 jours	December	29 jours
Quintilis	31 jours	Januarius	29 jours
Sextilis	29 jours	Febriaiius	28 jours

355 jours

La durée de cette année se rapproche de la durée de l'année lunaire mais la longueur des mois ne correspond plus à la longueur des mois lunaires.

Cette durée est trop courte, un peu plus de dix jours, le calendrier dérive donc très vite dans les saisons et il faut intercaler un mois supplémentaire tous les deux ans. Ce mois avait théoriquement 22 jours, s'appelait Mercedonius et était intercalé tout entier entre le 23 et le 24 février, ce qui ajouta bien sûr à la confusion. D'autre part, ce mois était celui où certaines soldes étaient payées : les mercenaires et certains actes notariaux. Aucune règle fixe n'ayant pu être mise au point pour assurer la précision de l'intercalation et la rigueur du calendrier, il fut confié aux pontifes de décider de la durée du mois intercalaire. Le calendrier devient alors un moyen de corruption ; les pontifes ayant le pouvoir de prolonger ou de raccourcir les échéances. Tout le monde appelait une réforme... c'est Jules César qui l'entreprit, en faisant appel à un astronome grec travaillant à Alexandrie : Sosigène. Afin de ne pas trop bousculer les habitudes, il fut décidé de garder les mêmes mois, en supprimant toutefois définitivement Mercedonius. Seul leur durée fut légèrement modifiée de manière à ce que l'année, purement solaire cette fois, durât 365 jours. Pour éviter les inconvénients du calendrier vague, un jour supplémentaire était ajouté tous les 4 ans et, en souvenir de Mercedonius, il fut intercalé entre le 23 et le 24 février. Le 23 février étant le sixième jour avant les calendes de Mars, on le comptait deux fois, d'où son nom de bis sextus (ante) Calendas Martias. Pour des raisons d'ordre social et religieux (place des fêtes dans l'année), il fut décidé que l'équinoxe de printemps serait fixé au 25 mars... la période d'ajustement fut difficile à cause du calendrier julien, l'an 708 de Rome fixa 455 jours, le début de l'année fut ramené du 1er mars au 1er janvier, le calendrier julien primitif était le suivant :

Janvier	31 jours	Quintilis	31 jours
Février	29 jours	Sextilis	30 jours
Mars	31 jours	September	31 jours
Avril	30 jours	October	30 jours
Mai	31 jours	November	31 jours
Juin	30 jours	December	30 jours

+ 1 jour tous les 4 ans en février

Ce calendrier ressemble fort au nôtre... Mais nous n'y sommes pas encore. César, assassiné l'année suivant sa réforme, ne put contrôler son application. Les pontifes, auxquels revenaient le soin d'intercaler le jour supplémentaire, interprétèrent mal le texte de la loi et firent l'intercalation tous les 3 ans... L'année était trop longue et le calendrier se mit vite à dériver. Auguste, en 8 avant notre ère, fixa le mode d'intercalation correct et décida de supprimer les années bissextiles pendant douze ans. Mais Marc Antoine avait auparavant décidé de donner à César le premier mois portant un numéro (d'ailleurs déjà erroné à cette époque). C'est ainsi que Quintilis devint Julius. Le Sénat, après les services rendus à l'empire par Auguste décida de lui dédier le mois suivant : Sextilis. Or, Sextilis n'avait que 30 jours... Comment donner 31 jours à César et 30 à Auguste sans faire de jaloux... en portant la durée de Sextilis-Auguste à 31 jours, le 31^e jour étant emprunté à Février qui n'en a plus que 28... pour éviter la succession de 3 mois longs de 31 jours (Julius - Augustus - September), le dernier jour de September fut reporté en October et le dernier jour de November sur December... ce qui permet d'appliquer la règle des doigts pour connaître la durée d'un mois !

La durée de l'année Julienne est de 365,25 jours, or nous avons vu que la durée de l'année tropique était de 365,2422 jours... l'année Julienne est donc un peu trop courte, le calendrier est en avance sur les saisons, et petit à petit, dérive. En 325 de notre ère, l'équinoxe de printemps tomba le 21 mars au lieu du 25... Ceci est d'importance car, en 325, se tenait le Concile de Nicée (aujourd'hui IZNIK sur le lac Ascarius en Turquie), or le Concile de Nicée fixa la date de Pâques qui fut liée à la première pleine Lune du printemps en souvenir de la fête du calendrier hébreux). Les évêques pensèrent que le décalage par la réforme Julienne (25 mars) et celui observé en 325 (21 mars) était dû à une erreur de Sosigène, ils ne pensèrent pas que la véritable durée de l'année était inférieure à 365 jours $1/4$... Ils lièrent donc la date de Pâques au 21 mars. Selon la règle suivante : Pâques se célèbre le dimanche qui suit la pleine Lune arrivant à la date du 21 mars, Pâques peut donc se déplacer du 22 mars au 25 avril.

Pendant les siècles qui suivirent, le calendrier dérivait peu à peu. Une réforme fut proposée en 1414 à Jean XXIII par le cardinal Pierre d'Ailly, des propositions du même ordre avaient été faites par le cardinal Cusa et par l'une des plus importantes figures scientifiques du Moyen Âge : Roger Bacon. Le Pape Sixte IV demanda à Régiomontanus (en réalité Johan Muller né près de Königsberg, d'où son nom) de lui proposer une réforme ; en 1476, la mort du savant arrêta le projet. Le Concile de Trente (1545-1553) s'alarmant de la dérive progressive de Pâques vers l'hiver, recommande de faire quelque chose.

Grégoire XIII enfin, fit appel à un groupe de savants (en particulier les frères Lélío) qui provoquèrent la réforme de 1582. Cette réforme est de deux ordres : elle modifie le système d'intercalation de manière à éviter la dérive —on supprime 3 années bissextiles en 400 ans—, la durée moyenne de l'année devient donc 365,2425, ce qui provoque une dérive de 3 jours en 10 000 ans, ce qui est négligeable, d'une part à cause de la durée d'utilisation d'un calendrier, d'autre part les irrégularités de la durée de rotation de la Terre sont du même ordre de grandeur. La deuxième partie de la réforme grégorienne est plus subtile pour ne pas avoir à modifier la définition de la date de Pâques qui aurait nécessité un Concile, Grégoire XIII recula le calendrier en faisant coïncider l'équinoxe avec le 21 mars en supprimant 10 jours : les dix jours comptés en trop depuis 325... le problème fondamental fut l'application de cette décision : à Rome, en Espagne, au Portugal, le lendemain du jeudi 4 octobre 1582 fut le vendredi 15 octobre.

En France, la même année, la réforme fut appliquée en décembre, le lendemain du 9 fut le 20.

Ces dates d'application de la réforme grégorienne se sont étalées jusqu'au XX^e siècle pour certains pays... ainsi l'Angleterre entreprit-elle la réforme en 1752... le décalage, alors, était de 11 jours, les pays baltes et la Russie n'ont entrepris cette réforme que récemment... on peut

encore lire des dates suivies de «ancien régime» dans les ouvrages russes ; au moment de la réforme, le décalage était de 13 jours, c'est pourquoi la Révolution d'Octobre eut lieu en Novembre (Grégorien).

Nous avons vu que notre calendrier est un instrument très précis permettant de compter les jours. C'est aussi un moyen de datation et actuellement le numérotage des années prend pour point de départ l'année présumée de la naissance du Christ... Il n'en a pas toujours été ainsi et lors de la réforme Julienne, on comptait les années depuis la fondation de Rome. Cette pratique a continué bien après, puisque ce n'est qu'en 532 que Denys le Petit proposa d'utiliser la naissance du Christ comme ère, qu'il avait fixée au 25 décembre de l'an 753 de Rome. Si la suggestion de Denys le Petit a été immédiatement retenue par l'église, l'usage n'en est devenu général en France qu'au VIII^e siècle, sous Charlemagne et les écrits officiels ne commencent à l'utiliser que vers le XI^e siècle, sous les Capétiens.

Pour simplifier les choses, les chronologistes reculèrent l'ère de 7 jours pour lui faire correspondre le début d'un mois. Mais il est certain que les déductions de Denys le Petit sont erronées.

Pour des raisons historiques (recensement du monde romain, mort d'Hérode), la naissance du Christ se situe 5, 6 ou 7 ans avant notre ère... Il y a un argument rationnel permettant de préférer 7 soit 746 de Rome, en cette année Jupiter et Saturne étaient en conjonction étroite et formaient une magnifique étoile des mages !

Il est donc probable que 1977 soit en fait 1984...

Nous avons vu que César avait commencé le début de l'année, ère Janvier, pour pouvoir appliquer plus rapidement sa réforme. Mais l'usage populaire garda pendant de nombreux siècles le 1^{er} mars pour changer d'année. Dans d'autres endroits, la réforme se structure du calendrier, n'ayant pas été appliquée à la même époque qu'à Rome, les années changeaient le 1^{er} avril, le 25 décembre (pour le solstice d'hiver au moment de la réforme Julienne), le 25 mars (équinoxe de printemps) ou, un peu plus tard, à Pâques, ce qui posait de graves problèmes car, depuis le IV^e siècle, Pâques était une fête mobile.

Ainsi 1347, commencée à Pâques le 1^{er} avril (usage de Paris) se termina le 20 avril aux Pâques suivantes... cette année eut donc deux mois d'avril.

Charles VIII alla à Trépas le 7 avril 1497 avant Pâques, à compter l'année à la feste de Pâques, ainsi qu'on le fait à Paris et en 1498 a commencé l'année de l'Annonciation de Notre-Dame, ainsi qu'on le fait en Aquitaine (généalogie des Rois de France - 1506). L'Annonciation est le 25 mars, date à l'époque romaine de l'équinoxe de printemps... on voit que les grandes fêtes religieuses fixes sont liées à des phénomènes astronomiques remplaçant ainsi les fêtes païennes mais laissant planer d'autant plus de doutes sur leur valeur d'anniversaire.

C'est Charles IX qui, en 1563, décréta que le premier janvier serait désormais le début de l'année, les Allemands avaient fait ce choix en 1500, les Anglais gardèrent la pratique du 25 mars jusqu'en 1751. Ainsi, le calendrier que nous utilisons est-il chargé de toute l'histoire de notre culture. Nous y sommes attachés par habitude et en venons à oublier ses défauts et ses irrégularités... Pourtant il serait possible, à peu de frais, d'améliorer cet instrument, afin de le rendre mieux adapté à la vie moderne. Deux types de réformes s'imposent en fait : d'une part, fixer les jours fériés liés à la date de Pâques (Pâques et Pentecôte), d'autre part, fixer le nombre de jours ouvrables par trimestre de manière à avoir des trimestres exactement égaux et à n'avoir pas sans cesse à calculer si le 15 ou le 30 est férié ou ouvrable, si telle date comporte ou ne

comporte pas d'impossibilité de rendez-vous, en fait, cesser de toujours se demander quel jour de la semaine correspond à une date donnée.

Une réforme de ce genre est réalisable en introduisant trois types de mois de 30 et 31 jours. Les mois de 31 jours commençant le dimanche (janvier - avril - juillet - octobre), les mois de 30 jours commençant soit le mercredi (février - mai - août - novembre), soit le vendredi (mars - juin - septembre - décembre), le dernier jour de l'année vient après le 30 décembre et n'est pas compté dans la semaine (c'est une sorte de réminiscence des jours épagomènes égyptiens ou des sans-culotides du calendrier républicain). Ainsi, le lendemain du samedi 30 décembre est le jour de l'an, et le lendemain du jour de l'an serait dimanche 1er janvier.

Ceci suffit pour fixer l'année et avoir un calendrier perpétuel. Le jour intercalaire des années bissextiles serait ajouté de la même manière entre le samedi 30 juin et le dimanche 1er juillet.

La mise en œuvre d'une telle réforme aurait pu se faire sans trop de difficulté et sans à-coup en 1972... année bissextile commençant un dimanche. Dans ce cas il n'y a qu'un jour à ajouter à Février et quelques petites modifications à faire. La prochaine fois sera en 2028. Mais si l'on veut bien aller jusqu'à ajouter 2 jours à Février et apporter les légères modifications aux autres mois, 1978 convient ainsi que 1989, 1995, 2000, 2006, 2017, 2023. La mise en œuvre de cette réforme qui ne change même pas les noms des mois, se heurte à de grosses difficultés. Dès qu'on veut toucher au calendrier, l'inertie des habitudes des croyances et des superstitions empêche ou rend difficile toute réforme. Ceci met d'autant plus en valeur la volonté de novation et le bouillonnement intellectuel qui anima la Révolution Française qui sut changer complètement de calendrier en 1792. Mais les erreurs, les modifications des rapports de classe et l'inévitable reflux lié à toute réforme profonde ont sacrifié le calendrier le 1er janvier 1806. Il ne dura que 13 ans, mais était déjà un calendrier perpétuel, plus rationnel que le nôtre.

LE PRIX NOBEL DE PHYSIQUE 1978

RECOMPENSE DES TRAVAUX ASTRONOMIQUES

Le 17 octobre 1978, le Prix Nobel de Physique a été attribué conjointement au Soviétique Piotr Kapitza et aux Américains Arno Penzias et Robert Wilson. Les travaux qui ont valu à ces deux derniers de recevoir le prix concernent l'astronomie et c'est pourquoi nous allons en dire un mot.

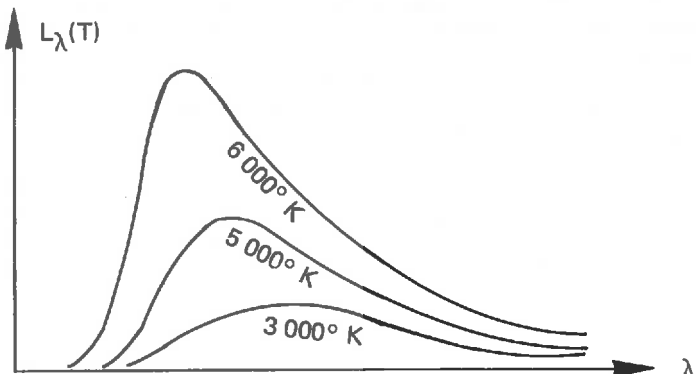
Parlons d'abord un peu du rayonnement. Les physiciens ont établi la théorie du rayonnement pour le «corps noir». Un tel corps est à la fois parfaitement absorbant et parfaitement émissif. Une réalisation concrète en est fournie par un four percé d'une petite ouverture : aux températures ordinaires, l'ouverture paraît noire (comme dans un four !), ce qui justifie le vocable de «corps noir», tandis qu'à une température d'un ou plusieurs milliers de degrés, elle sera éblouissante. Si l'on s'intéresse tant à ce type de corps, c'est que d'une part ce sont ceux dont les lois du rayonnement sont les plus simples et que, d'autre part, le rayonnement d'un grand nombre de corps naturels s'en rapproche plus ou moins : par exemple, on peut apparenter (en première approximation) les étoiles à des corps noirs.

Cette difficile théorie a été établie à la fin du siècle dernier et au début du nôtre par de grands noms de la physique : Stefan, Boltzmann, Wien et surtout Planck qui émit à ce propos sa célèbre hypothèse des quanta. L'un des principaux résultats obtenus est la courbe qui donne, pour un corps noir à une température T donnée, la répartition de l'énergie rayonnée en fonction de la longueur d'onde. Pour donner un exemple, c'est l'allure de cette courbe qui nous dira que, pour un corps noir à 2000°K , la majeure partie de l'énergie rayonnée est transportée par les rayonnements de longueurs d'onde comprises entre $1\ \mu$ et $3\ \mu$, que très peu d'énergie est transportée par les rayonnements de longueurs d'onde supérieures à $5\ \mu$, etc... D'une façon précise, une telle courbe, qui est dite une isotherme du corps noir, donne la luminance énergétique monochromatique du corps noir à la température T en fonction de la longueur d'onde λ conformément à la formule de Planck.

$$L_{\lambda}(T) = \frac{2 hc^2}{\lambda^5 (e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1)}$$

(h = constante de Planck, k = constante de Boltzmann, c = vitesse de la lumière dans le vide).

On obtient, en traçant les isothermes correspondant à diverses températures, les résultats suivants : chaque isotherme présente un maximum unique atteint pour une certaine longueur d'onde λ_M ; au fur et à mesure que T croît, λ_M décroît (le maximum se déplace vers les courtes longueurs d'onde) et le maximum augmente. Voici l'allure sommaire de plusieurs isothermes :



Maintenant, considérons un corps de température inconnue, mais dont le rayonnement est assimilable à celui du corps noir. Traçons la courbe donnant sa répartition de l'énergie rayonnée en fonction de la longueur d'onde et comparons cette courbe aux isothermes du corps noir à différentes températures. Si notre courbe coïncide avec l'isotherme du corps noir à la température T_0 , nous pourrions en déduire que notre corps est à la température T_0 (en réalité, ce n'est pas si simple : la température ainsi définie est dite «température apparente de couleur» et l'on peut envisager d'autres procédés pour évaluer la température de notre corps).

Il nous faut maintenant parler un peu de l'Univers. Rappelons que, pour essayer de rendre compte des propriétés globales de celui-ci, on est amené à élaborer des «modèles d'Univers» en faisant largement appel à la théorie de la relativité générale. L'extrême complexité du problème oblige à faire des hypothèses simplificatrices mais vraisemblables : on suppose que l'Univers est homogène (la distribution de matière y est régulière) et isotrope (ses propriétés sont identiques dans toutes les directions). On dispose de plus d'une loi déduite de l'observation : les galaxies s'éloignent de nous d'autant plus vite que leur vitesse est plus grande (c'est la célèbre loi de Hubble). Il faudra donc que les modèles d'Univers en rendent compte. Les premiers modèles d'Univers à avoir été proposés étaient des modèles statiques où l'Univers n'avait pas de mouvement à grande échelle : il y eut le modèle d'Einstein proposé par lui en 1917, sept ans avant la découverte de la loi de Hubble et celui de De Sitter (1917 également). Ils ont été rejetés, le premier parce qu'il était incompatible avec la loi de Hubble, le second parce qu'il conduisait à un Univers vide. Les modèles d'Univers non statiques de Friedmann sont au nombre de trois : le modèle hyperbolique et le modèle euclidien où l'Univers est en expansion et celle-ci continuera indéfiniment (le premier de ces modèles est à courbure négative, le second à courbure nulle) ; le modèle elliptique où l'expansion actuelle de l'Univers fera place dans le futur à une contraction et ainsi de suite (il s'agit d'un Univers oscillant, la courbure de ce modèle est positive). Notons qu'actuellement, on ne sait pas dire lequel des trois modèles de Friedmann peut rendre compte de la réalité : il faudrait en effet connaître le signe de la courbure de l'Univers et ce dernier dépend de la densité moyenne de l'Univers qui, pour le moment, n'est pas connue avec suffisamment de précision (on sait qu'elle est supérieure à 10^{-31} g/cm³). Les modèles de Friedmann sont des modèles à explosion primordiale : ceci signifie qu'il y a eu un instant initial où l'Univers était dans un état hyperdense ; dans cet état, ses dimensions étaient pratiquement nulles et la matière était transformée en énergie ; l'Univers en cet état initial était une sorte de «boule de feu» formée d'un rayonnement à très haute température. Cette «boule de feu» est entrée en expansion : c'est l'explosion primordiale ou «Big Bang». Une partie de ce rayonnement s'est transformée en la matière que nous connaissons et qui constitue les galaxies et la matière intergalactique, tandis que le reste s'est dilué dans un espace de plus en plus vaste. Ce rayonnement dont la température initiale était de l'ordre de 10^{12} degrés K se refroidit au cours de l'expansion en suivant une loi du type $RT = \text{constante}$ où T désigne sa température et R le rayon de l'Univers.

Bondi, Gold et Hoyle ont établi d'autres modèles d'Univers (1948) dits «stationnaires». Dans ces modèles, il n'y a pas d'explosion primordiale ni d'instant initial ; la constante de Hubble est une vraie constante, invariable au cours du temps (dans les modèles de Friedmann, elle n'est constante qu'à l'échelle humaine) ; la densité de l'Univers est également constante et, comme l'Univers est en expansion, ceci implique une création continue de matière. Dans ce type de modèle, l'Univers a le même aspect pour tout observateur, à la fois quelle que soit sa position dans l'espace (c'est aussi le cas des autres modèles) et quel que soit l'instant d'observation (en ceci, ce type diffère des autres).

Il faut donc choisir entre les modèles de Friedmann et les modèles stationnaires. Ce sont des renseignements provenant d'observations qui doivent permettre de trancher la question. Deux découvertes sont venues faire pencher la balance en faveur des modèles à explosion primordiale. D'une part, l'étude des radiogalaxies a montré que, dans le passé,

l'Univers était très différent de ce qu'il est maintenant. D'autre part, il y a eu la découverte de Penzias et Wilson. Si les modèles à explosion primordiale rendent compte de la réalité, on doit pouvoir observer le résidu du rayonnement thermique dont il a été question plus haut. La loi $RT = cte$ fait que la température de ce résidu doit être très basse ; donc, par suite des lois du rayonnement du corps noir, ce résidu doit être observable dans les longueurs d'onde radio. Sa faible intensité rend, bien sûr, son observation difficile. En 1965, Dicke et Peebles avaient étudié par la théorie ce rayonnement. La même année, Penzias et Wilson, travaillant au Bell Telephone Laboratory, observaient à l'aide de la grande antenne de ce laboratoire le satellite Echo sur la longueur d'onde 7 cm. C'est sur cette longueur d'onde qu'ils observèrent pour la première fois le rayonnement en question. Le fait que le rayonnement observé soit isotrope (c'est-à-dire le même dans toutes les directions) exclut qu'il ait son origine dans une radio-source galactique ou extra-galactique quelconque et tend à prouver son origine cosmologique. Cette première mesure (faite à 7,35 cm exactement) fut suivie de mesures à 3,2 cm et à 20,7 cm. On a fait ultérieurement des mesures sur les longueurs d'onde de 0,8 cm, 0,9 cm, 1,6 cm, 50 cm et 75 cm. Il se trouve que ces huit points se placent avec une très bonne précision sur l'isotherme du corps noir à $2,7^\circ \text{ K}$ (rappelons que $0^\circ \text{ K} = -273^\circ \text{ C}$). Field et Woolf ont obtenu un neuvième point : l'observation du spectre de certaines étoiles montre qu'il existe dans la matière interstellaire des molécules de CN (cyanogène) excitées à leur premier niveau au-dessus du fondamental ; or, les molécules de CN ne peuvent être portées à ce niveau que par des photons de longueur d'onde 2,6 mm ; si l'on connaît, dans un nuage, la fraction de molécules de CN excitées, on peut en déduire la température du rayonnement qui fournit ces photons ; enfin, cette fraction est mesurable à l'aide des raies d'absorption que provoquent les nuages interstellaires contenant des molécules de CN dans certains spectres stellaires. Les mesures, portant sur huit nuages différents, ont toutes donné une température voisine de 3° K .

Les travaux de Penzias et Wilson ont donc mis en évidence ce rayonnement cosmologique à $2,7^\circ \text{ K}$ qui baigne l'Univers, résidu du « Big Bang » initial. D'une manière imagée, tout se passe comme si actuellement, nous étions dans un four à $2,7^\circ \text{ K}$.

Le lecteur désireux d'approfondir la question pourra se reporter à l'article de Heidmann, « Le rayonnement thermique cosmologique » publié dans le n° 82 de la revue « L'Astronomie » (1968) ou au livre « La recherche en astrophysique » de la collection Points Science. Le lecteur possédant de bonnes connaissances de mathématiques consultera avec profit l'ouvrage d'Andrillat, « Introduction à l'étude des cosmologies », chez Armand Colin, ainsi que celui d'Heidmann, « Introduction à la cosmologie », P.U.F., collection sup.

D. SONDAZ

I — UN PEU D'HISTOIRE

Nous sommes en 1960, et les radio-astronomes se trouvent confrontés à un problème d'identification : de nombreuses radio-sources n'ont pu être reliées à un objet particulier visible sur les photographies, celles-ci ne montrant, à la position mesurée de la radio-source, qu'un champ stellaire d'aspect anodin. On commence à parler de «radio-étoiles», bien qu'aucune théorie ne laisse prévoir ce phénomène. C'est le cas en particulier pour les radio-sources 3C 48 et 3C 273, et, en 1961 et 1962, l'idée prend de la force, bien que des examens plus fins de 3C 273 mettent en évidence l'existence d'un jet lumineux issu de «l'étoile» et s'étendant sur une vingtaine de secondes d'arc. 3C 273 ne peut donc être une étoile, cela ne ressemble pas à une galaxie non plus. Fin 1962 et début 1963, par chance, la lune occulte 3C 273, et l'instant précis de la disparition de l'émission radio permet, compte tenu du mouvement et de la forme de notre satellite, une très précise détermination de la position de l'objet : il se révèle double, une des composantes coïncide exactement avec «l'étoile», l'autre avec l'extrémité du «jet» !

Les astronomes «opticiens» s'intéressent alors à l'affaire et étudient spectroscopiquement ces «radio-étoiles». Tout d'abord 3C 48. Surprise : les spectres sont indéchiffrables, les raies qui y apparaissent semblent n'appartenir à aucun corps connu ! Très vite, Maarten Schmidt découvre la clé : ces spectres sont des spectres classiques, décalés vers le rouge d'une quantité jamais vue jusque là. Cette fois, plus question de parler de radio-étoiles, on se trouve devant un phénomène sans précédent : les quasars —pour «quasi stellar radio-sources»— sont nés...

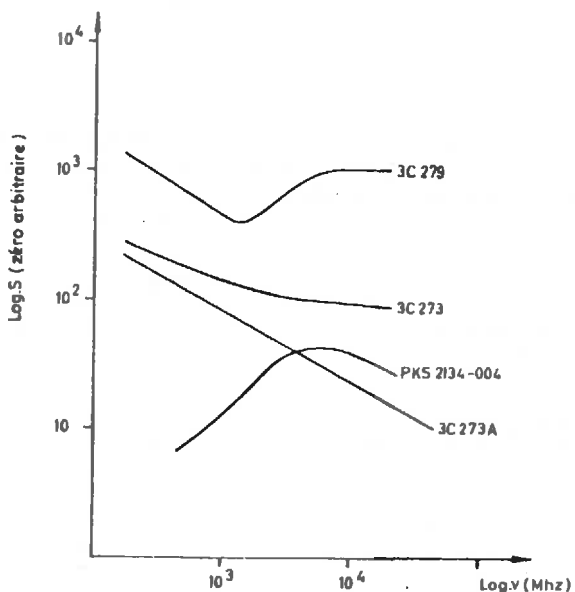
II — LES FAITS D'OBSERVATION

1 - Dans le domaine radio : les radio-galaxies sont très souvent formées de deux ou plusieurs composantes, et on a fréquemment un alignement assez bon entre la galaxie observée optiquement et les composantes radio situées en général de part et d'autre de celle-ci. On retrouve un peu la même chose pour les quasars, avec une grande diversité dans le détail, et surtout un très faible diamètre angulaire pour la ou les sources radio. En général, moins de 0,1 seconde d'arc, soit une mouche vue à 20 km. On se trouve donc en présence de sources pratiquement ponctuelles, bien qu'il y ait des contre-exemples ; les puissances, par contre, sont de l'ordre de celles des radio-sources les plus intenses. Le spectre des radio-sources est en général étudié en construisant un graphique où l'on porte $\log S(\nu)$ en fonction de $\log \nu$; ν est la fréquence du rayonnement radio étudié et est lié à la longueur d'onde λ par $\lambda = \frac{c}{\nu}$ (par exemple, tel poste périphérique émet sur la longueur d'onde de 1647 mètres et avec $c = 3.10^5$ km/s, on obtient $\nu = 182\,149,36$ Hertz, ou encore 182 KHz à peu près. On étudie en radioastronomie des longueurs d'onde beaucoup plus courtes, correspondant à des fréquences plus élevées). $S(\nu)$ est la densité de flux pour la fréquence ν . C'est la puissance reçue à la surface de la Terre, sur une surface d'un mètre carré, dans une bande passante de 1 Hz autour de la fréquence ν ; pour certaines raisons physiques, il est plus commode d'étudier la relation existant entre les logarithmes de ν et $S(\nu)$. Aux basses fréquences entre 100 et 1 400 MHz (1 MHz = 10^6 Hz), c'est-à-dire pour des longueurs d'onde de 3 m à 21 cm, le spectre est rectiligne, de pente variant entre -0,3 et -1,2. Il est très généralement interprété comme résultant d'un processus appelé le «rayonnement synchrotron» et dont le mécanisme peut être schématisé ainsi : un faisceau d'électrons constitue, comme nous l'avons appris, un courant électrique. Si maintenant, ce faisceau traverse un champ magnétique, sa trajectoire va être déviée, tout comme un fil où circule un courant électrique subit l'influence d'un aimant placé dans son voisinage. On peut montrer alors que les trajectoires des électrons sont des hélices enroulées autour des lignes de

force du champ magnétique. La théorie de la relativité affirme qu'un électron placé dans un tel état de mouvement non uniforme rayonne de l'énergie électromagnétique aux yeux d'un observateur extérieur au phénomène. Celui-ci devient important pour des électrons de vitesses relativistes, c'est-à-dire voisines de celle de la lumière. Par énergie électromagnétique, on entend bien entendu la lumière visible, mais aussi tous ses prolongements : ultraviolet, rayons X, rayons γ du côté des courtes longueurs d'onde, infrarouge et ondes radio du côté des grandes longueurs d'onde.

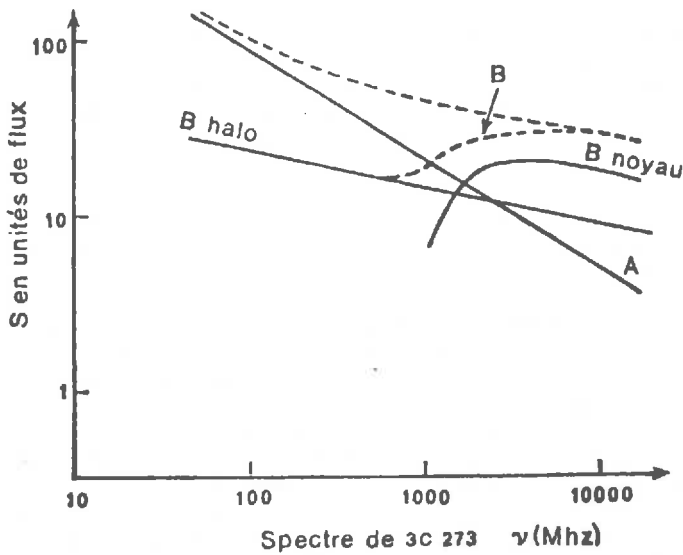
Ce rayonnement a été observé pour la première fois dans les accélérateurs de particules nommés synchrotrons, où il constitue une gêne importante par la perte d'énergie qu'il occasionne ; d'où son nom.

Au-delà de 1400 MHz, l'aspect du spectre est très variable, il peut rester rectiligne, ou bien se courber. La courbure est bien interprétée par différents effets : auto-absorption synchrotron pour les spectres convexes (les électrons relativistes, très nombreux dans un petit volume pour certaines sources compactes, interceptent et réabsorbent le rayonnement synchrotron avant qu'il ne sorte de la zone émissive, mais ce processus n'est efficace que jusqu'à une certaine fréquence ν_0). Au-dessus, on retrouve le spectre rectiligne, mais les basses fréquences sont fortement déprimées, d'où l'aspect « bossu » du spectre, objet composite pour les spectres concaves. Par exemple, pour 3C 273, on a montré qu'il y avait juxtaposition de trois zones émissives : une zone A à spectre rectiligne, une zone B qui se décompose en un noyau compact à spectre « bossu » et un halo à spectre rectiligne. (fig. 1, fig. 2)



--- Ce diagramme représente divers exemples de spectres radio de quasars : spectre rectiligne (3 C 273 A) ; spectre concave (3 C 273) ; spectre convexe (PKS 2134-004) et spectre composite (3 C 274).

FIG. 1 (d'après J. DEMARET : « L'énigme des objets quasi-stellaires »)



-- Décomposition du spectre composite de 3 C 273 en ses composantes (A, B_{noyau} et B_{halo}) (d'après P. VÉRON, « Les quasars », p. 54).

FIGURE 2

Il faut enfin noter que le flux des quasars est variable aux hautes fréquences, et que ceci s'explique par les actions conjuguées d'une expansion de la source à des vitesses relativistes (qui font donc diminuer la densité et, partant, la fréquence de coupure ν_0 ainsi que le flux aux hautes fréquences) et de l'auto-absorption synchrotron (qui se déplace vers les basses fréquences avec ν_0).

Très récemment encore, le flux à basse fréquence des quasars était considéré comme constant, mais des observations assez fines ont montré de légères variations dans ce domaine, totalement inexpliquées pour l'instant.

2 - Dans le domaine optique : comme déjà remarqué, l'aspect des quasars est presque toujours stellaire, avec parfois une faible nébulosité sous-jacente, point sur lequel on aura l'occasion de revenir.

Le déplacement vers le rouge de l'ensemble du spectre est un effet bien connu sur les galaxies classiques, et on l'interprète habituellement comme dû à un effet Doppler produit par l'expansion de l'Univers : de même que le bruit d'une automobile qui s'éloigne de nous sur une autoroute semble plus grave que quand elle s'approchait, la lumière que nous envoie une galaxie qui s'écarte de nous montre un décalage vers les grandes longueurs d'onde, en l'occurrence le rouge pour rester dans le domaine visible. Ce déplacement est habituellement mesuré par le paramètre z défini ainsi : $1 + z = \frac{\lambda}{\lambda_0}$ où λ est la longueur d'onde accrue et λ_0 la longueur d'onde théorique que l'on mesurerait si la source était au repos relativement à l'observateur.

Sur les galaxies, cet effet est faible, et z ne dépasse guère 0,5. De nombreux quasars ont un z de l'ordre de 2, ce qui correspond à une vitesse d'éloignement de 240 000 km/s, soit

80 % de la vitesse de la lumière. Le record actuel appartient OQ 172 avec $z = 3,53$ et donc $v = 0,91 c$, soit 272 000 km/s... Dans cette interprétation toujours, on obtient des magnitudes absolues (qui mesurent l'éclat réel de l'objet dans une échelle logarithmique) extraordinaires. Qu'on en juge : alors que la magnitude d'une étoile supergéante peut atteindre -8 ou -9 , celle d'une supernova -15 ou -17 , celle d'une galaxie spirale -17 , celle d'une elliptique géante -20 ou -21 , PKS 1510-089 aurait atteint -30 et 3C 279 : $-31,4$! Il faut se rappeler qu'une différence de $2,5 \times n$ magnitudes correspond à un rapport des éclats de 10^n . Par exemple, 3C 279 serait parfois 10 000 fois plus brillante qu'une galaxie elliptique géante auprès de laquelle la Nébuleuse d'Andromède, toute grande spirale qu'elle soit, n'est qu'un pâle lumignon. 3C 279 serait alors, et de très loin, l'objet le plus lumineux de l'Univers connu.

Bien entendu, tous ces objets, très lointains, sont d'aspect tout à fait anodin, et le plus brillant quasar connu, 3C 273, n'est que de magnitude visuelle 12,8, et demande donc un télescope d'une vingtaine de centimètres pour être vu.

Le spectre des quasars présente en général des raies d'émission, provenant d'un gaz excité par une source d'énergie quelconque. Ces raies révèlent la présence d'hydrogène, carbone, oxygène, néon, hélium, silicium, etc... plus généralement tout ce que l'on peut trouver dans un objet dont la composition serait à peu près celle du Soleil et de toutes les étoiles, à une déficience en hélium près. Ces raies sont très larges, révélant des mouvements de turbulence à plusieurs milliers de km/s dans la région émissive, et ont toutes le même décalage vers le rouge, fait qui prendra son importance plus loin.

Ces raies sont en général accompagnées, du côté des courtes longueurs d'onde, de raies d'absorption, et ceci amène à conclure que la lumière issue de la région émissive traverse, avant de nous parvenir, une couche plus froide en expansion autour de l'objet, ce qui explique les raies plus fines (couche froide) et le z plus petit (mouvement vers l'observateur qui tempère un peu l'expansion cosmologique). Dans le spectre de OQ 172 par exemple, on a reconnu 175 raies d'absorption, montrant, par groupes, des z un peu différents qui traduisent l'existence de plusieurs coquilles en expansion.

Au rayonnement des raies d'émission se superpose un rayonnement continu, dont on montre qu'il ne peut pas être le prolongement du rayonnement radio, qui à ces fréquences devient trop faible. On doit donc supposer l'existence d'un second mécanisme, sans doute synchrotron lui aussi, responsable de l'émission du continu optique. Une alternative est l'effet Compton inverse : un électron relativiste et un photon (le « grain de lumière ») peuvent se heurter de telle façon que l'électron cède une partie de son énergie au photon. L'un et l'autre mécanismes permettent de rendre compte du fort rayonnement ultraviolet des quasars, mais nécessitent tous deux un flux très important d'électrons rapides dont l'origine reste à expliquer.

Dans le domaine optique, les quasars sont pratiquement tous variables, avec le cas extrême de 3C 279 dont l'amplitude de variation atteint 6,7 magnitudes pour l'instant, étant passé de 11,27 (en 1937) à 18.

Beaucoup présentent des variations rapides : 3C 454.3 par exemple, présente des variations de 0,3 magnitude par heure, et ceci pose des problèmes discutés plus loin. On a mieux avec PKS 1514-24, «l'étoile variable» AP Librae, qui varie parfois de 0,5 magnitude en 20 minutes.

Pour terminer, signalons que tous les quasars ne sont pas de puissants émetteurs radio, et qu'on trouve en moyenne, pense-t-on, 100 quasars non radio pour un quasar radio. Mais les premiers sont plus difficiles à détecter car rien n'attire l'attention sur eux, si ce n'est leur couleur anormalement bleue. On les appelle parfois, faute de mieux, galaxies quasi stellaires, ou objets bleus stellaires, mais rien ne prouve qu'il s'agisse de galaxies.

Il existe d'autres objets apparentés aux quasars : galaxies de Seyfert au noyau très brillant donnant d'énormes raies d'émission, galaxies N qui sont un peu de super-Seyfert où le noyau efface presque complètement la galaxie, Lacertides, sortes de petits quasars au spectre sans raies, sis dans des noyaux galactiques.

III – LES PROBLEMES POSES PAR LES QUASARS

L'interprétation la plus immédiate du décalage vers le rouge des raies spectrales des quasars fait appel à l'expansion de l'Univers. Depuis Hubble, on sait que, pour des distances modérées au moins, la vitesse de récession est proportionnelle à l'éloignement, avec une loi de la forme $V = Hr$, H étant la constante de Hubble, dont la valeur est très controversée en ce moment, tournant sans doute autour de 55 km/s/Mpc (1 Mpc = 1 Méga-parsec = 10^6 parsec = $3,26 \cdot 10^6$ années lumière = $3,26 \cdot 10^{19}$ km). Pour des distances très grandes, cette loi simple n'est plus valable, et il faut faire une hypothèse sur la topologie de l'espace temps pour pouvoir écrire une nouvelle loi de Hubble. On fait donc une telle hypothèse, en essayant d'être raisonnable, et on peut alors, connaissant V d'après

$$z = \sqrt{\left(1 + \frac{v}{c}\right) / \left(1 - \frac{v}{c}\right)}$$

déterminer r , distance du quasar. Une certaine distance en tout cas, car la Relativité Générale ne permet plus de conserver la notion de distance telle que nous la connaissons dans la vie courante. Quoi qu'il en soit, on sait que l'éclat apparent d'une source varie comme l'inverse du carré de sa distance, et on peut donc, de la magnitude apparente, remonter à la magnitude absolue, c'est-à-dire à l'éclat intrinsèque de l'objet.

En radio comme en optique, on arrive à des énergies totales de l'ordre de 10^{61} à 10^{63} ergs. Par exemple, en optique, la magnitude absolue donne un débit de 10^{47} ergs/seconde et la longueur du jet de 3C 273, par exemple, permet de penser que le phénomène quasar dure 10^6 ans. En utilisant ces deux informations, on trouve 10^{61} ergs. Il s'agit d'une énergie superlativement colossale : une supernova libère 10^{50} ergs, l'annihilation totale du soleil fournirait 10^{54} ergs, il faudrait donc annihiler dix millions de Soleils... Rappelons au passage qu'un erg vaut 10^{17} watt seconde. Fort de cette équivalence, j'ai plaisir à faire remarquer en ces périodes d'austérité qu'un quasar libère dans l'espace, au cours de sa vie, l'équivalent de 10^{37} barils de pétrole.

C'est énorme et tellement énorme qu'on a commencé à douter de la réalité du grand éloignement des quasars : si ceux-ci sont plus proches, ils n'ont pas besoin d'être aussi lumineux, et retomberont peut-être dans le monde des objets classiques.

Par ailleurs, les variations rapides de certains rendent le problème encore plus aigu. On voit aisément qu'une sphère lumineuse ne doit pas être trop grande si on souhaite que son éclat varie globalement et rapidement : il faut un certain temps au rayon lumineux parti du bord apparent de la sphère pour parvenir au niveau du point le plus proche de l'observateur (fig. 4). Si pendant ce temps $\Delta t = r/c$, l'éclat de la sphère, maximal au départ, est passé à un minimum, les informations transportées par les rayons marginaux et centraux seront déphasées, et pour l'observateur qui ne perçoit que l'éclat global, la variation sera « gommée ». En appliquant cette méthode aux quasars, on est amené à leur assigner des diamètres de l'ordre de quelques années lumière, ce qui est extraordinairement petit vu les énergies à contenir. De plus, et jusqu'à une date récente, on pensait qu'une forte densité était incompatible avec le maintien du rayonnement synchrotron.

L'hypothèse d'une distance cosmologique pour les quasars est donc très inconfortable, apparemment. Mais existe-t-il une autre explication du décalage vers le rouge ? En douter serait mal connaître l'ingéniosité des astrophysiciens !

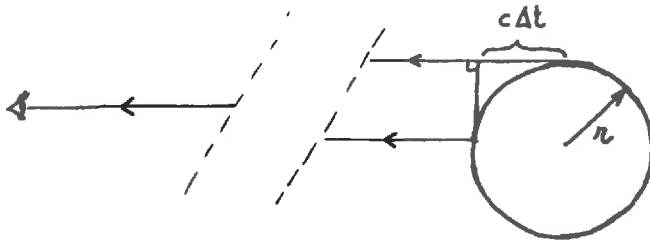


FIGURE 4

IV – ORIGINE DU DECALAGE VERS LE ROUGE ET DISTANCE DES QUASARS

La moderne querelle des anciens et des modernes divise en ce moment les astronomes en deux classes : ceux qui croient que les quasars sont à leur distance cosmologique, et ceux qui pensent que ces objets sont en fait relativement proches de nous. Les deux clans ont énormément de soucis avec les conséquences de leur prise de position initiale, et sont amenés l'un et l'autre à des conclusions extraordinaires ; si au départ les «cosmologistes» pouvaient passer pour les anciens, les conservateurs, on n'en est plus du tout certain aujourd'hui et leur position n'est pas moins inconfortable que celle des révolutionnaires amateurs de physique exotique.

1 - Hypothèses locales

a) *Les quasars sont proches (quelques Mégaparsecs au plus) et leur z est d'origine gravitationnelle.*

On fait intervenir là un effet prédit par la Relativité Générale : un atome émettant un photon dans un champ gravitationnel intense, c'est-à-dire au voisinage d'une masse importante, ce photon est caractérisé par une fréquence inférieure à celle qu'il aurait s'il était émis loin de toute masse. La lumière est donc décalée vers le rouge, et cette perte d'énergie correspond au travail qu'a dû fournir le photon pour s'arracher au champ gravitationnel, en quelque sorte.

On suppose donc qu'un quasar est un objet très massif et très concentré, où la gravité est très élevée.

Cette explication rencontre de gros ennuis. Tout d'abord, l'observation montre que parmi les raies d'émission du spectre d'un quasar, certaines sont «interdites», c'est-à-dire ne peuvent prendre naissance que dans un milieu très raréfié, et certainement pas au même endroit que les autres raies. Donc, les z devraient être variés pour ces raies issues de régions où la gravité est différente en raison d'une distance différente au centre de l'objet. Or, c'est le contraire qui est observé, toutes les raies d'émission ont le même z.

Il y a encore plus grave, la relativité impose un z maximal de 0,62 pour une sphère de fluide parfait, or les quasars dépassent largement $z = 0,62$. On peut s'en sortir en imaginant des amas d'objets supermassifs, par exemple 10^{12} à 10^{13} étoiles à neutrons dans un rayon de 10^{16} à 10^{17} cm soit un dixième d'année lumière. On peut alors parvenir à $z = \infty$, mais au prix de graves défauts d'instabilité et de non uniformité du champ gravitationnel interne. De plus, ces objets extrêmement massifs ne pourraient plus guère être locaux, car alors ils perturberaient le mouvement des étoiles de notre Galaxie, et «ça se saurait»...

On a supposé que les quasars étaient des objets éjectés dans le passé par le noyau de notre Galaxie, puis qu'ils avaient été éjectés par les radio-galaxies voisines. Cette dernière supposition se heurte immédiatement à la constatation que tous les décalages sont vers le rouge, et qu'il faudrait vraiment un hasard extraordinaire pour que des objets lancés au hasard dans notre voisinage soient tous en train de nous fuir.

Auraient-ils été éjectés du noyau de notre Galaxie ? Comme leur mouvement propre est indécélable, c'est qu'ils sont très loin déjà. L'intensité des raies d'émission nous donne une limite inférieure de 10^5 masses solaires par quasar, qu'il a fallu accélérer à des vitesses relativistes, au prix d'une énergie considérable. Comme on estime à 10^5 le nombre de quasars visibles sur le ciel, on peut faire le calcul de l'énergie qu'a dû dépenser le noyau pour éjecter ces objets, et on retombe sur des chiffres de l'ordre de 10^{61} ergs ! On n'a donc rien résolu, au contraire, car la masse du noyau de notre Galaxie est bien trop faible pour une telle dépense d'énergie.

Enfin, la répartition de la densité spatiale des quasars, qui croît quand on s'éloigne de notre Galaxie, est incompatible avec tout ce qu'on sait des processus explosifs.

2 - Hypothèses cosmologiques :

a) *Les quasars sont à leur distance cosmologique, mais leur éclat est renforcé par un effet de lentille gravitationnelle.*

La théorie de la Relativité Générale prédit qu'un rayon lumineux passant près d'une grande masse voit sa trajectoire courbée vers cette masse. Dans ces conditions, on a supposé que les quasars étaient des objets de luminosité raisonnable comme des galaxies de Seyfert mais que, alignés par hasard avec une galaxie compacte placée entre eux et nous, leur éclat était renforcé par cette focalisation gravitationnelle. Nous observerions alors un noyau de Seyfert faussement surlumineux. (fig. 5)

Une analyse statistique a vite montré qu'il était peu probable de trouver 10^5 alignements de ce genre, «par hasard».

En plus, les régions étendues de la source, ne bénéficiant pas de l'effet de lentille, devraient être dotées d'une intensité intrinsèque invraisemblable.

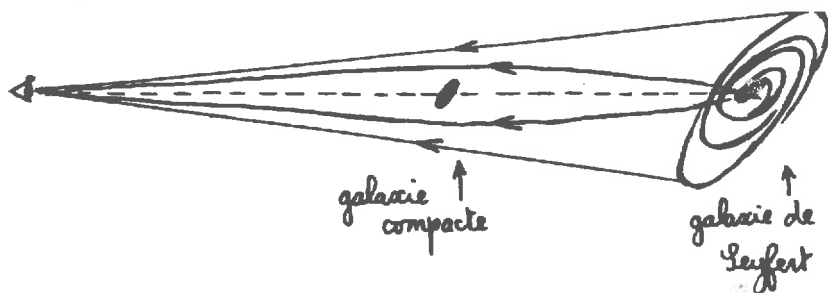


FIGURE 5

«Vous trouverez la suite de cet article dans le prochain numéro...».

Société Astronomique de Lyon
69230 – Saint-Genis-Laval

Sommaire

- 1 – «Le calendrier» ou «De l'astronomie dans la vie quotidienne».
- 7 – Le prix Nobel de physique 1978 récompense des travaux astronomiques.
- 10 – Les quasars.

Prix : 5 F