

LES QUASARS

Définitions

Deux définitions peuvent être données :

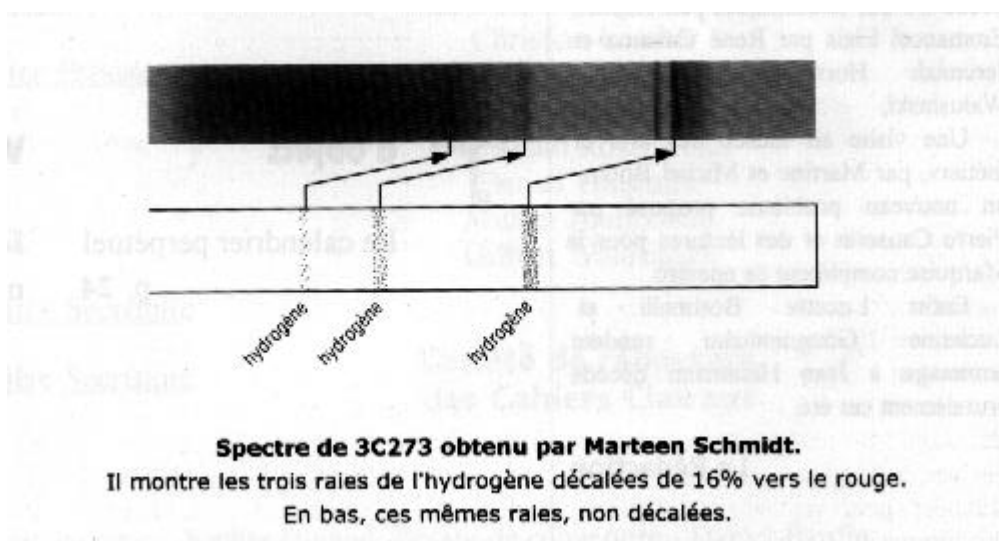
- Etymologique : Contraction de "**QUAS**i **Stell**AR Radio Sources".
Physique : Objets d'apparence stellaire, *lointains*, *lumineux* et *compacts*.
Chaque paramètre en italique est poussé à l'extrême.

Historique

A la sortie de la deuxième guerre mondiale, grâce aux recherches sur les radars, la radioastronomie fit de gros progrès. Un des laboratoires de pointe était celui de Cambridge, en Angleterre. Le premier travail fut de recenser les sources radio du ciel.

Au début des années 1960, les spectres de 2 sources radio du troisième catalogue de Cambridge (3C273 et 3C48) intriguèrent les astronomes car présentant des raies en émission non interprétées (les étoiles donnent des raies en absorption, rarement en émission).

On doit à Jesse Greenstein et Marteen Schmidt la reconnaissance, dans ces spectres, des raies de l'hydrogène, mais décalées par l'expansion de l'Univers à un point inconnu à ce jour : 16 % pour 3C 273, et 37 % pour 3C 48 (soit un redshift z respectivement de 0,16 et 0,37). A cette distance, une étoile n'est plus visible.



Pour l'époque, c'était les objets les plus éloignés jamais rencontrés. Il devint vite évident que les Quasars n'étaient pas des étoiles.

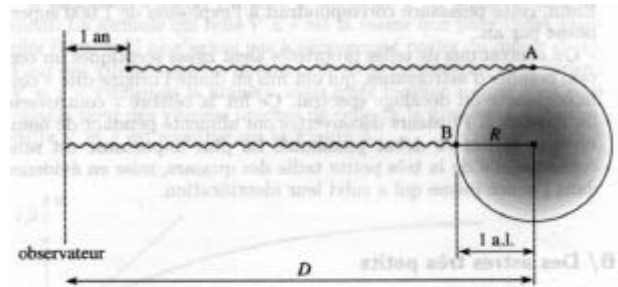
Caractéristiques des Quasars

La contrepartie visible de ces sources radio lointaines fut bientôt assimilée à ce qui ressemblait à une étoile.

Les calculs donnent, pour ces objets, des distances de plusieurs milliards d'années-lumière !

Voir des objets si lointains signifiait qu'ils étaient extrêmement lumineux. En effet, leur luminosité intrinsèque est d'environ mille fois celle de notre Galaxie toute entière.

Un autre paramètre est venu étonner les spécialistes. Ces objets varient assez rapidement en luminosité avec des fréquences de l'ordre de quelques heures à quelques mois. Ce qui signifie que leur dimension caractéristique est au maximum de l'ordre de quelques heures ou quelques mois de lumière. Comment un objet de la taille du système solaire peut-il rayonner autant d'énergie que mille galaxies ?



Comment détermine-t-on la dimension maximale d'une source variable ? Supposons que la surface d'une étoile se mette brutalement à rayonner deux fois plus. Même si ce changement est instantané, l'augmentation de l'éclat que percevra un observateur ne sera pas instantanée, mais elle s'étalera sur un temps égal à R/c , c étant la vitesse de la lumière et R le rayon de l'étoile. En effet, les photons issus du point A parviendront à l'observateur un temps R/c après ceux qu'émet le point B. Donc, le « temps caractéristique » de variation divisé par c mesure la taille maximale que l'étoile peut avoir.

Un autre argument indiquant que ces objets ne sont pas des étoiles, est la composition de leur spectre, et surtout la répartition de l'énergie dans les différentes longueurs d'ondes. Une étoile rayonne comme un corps noir, c'est-à-dire selon sa température. La courbe correspondante a l'aspect d'une cloche déformée, avec un maximum permettant d'estimer la température des couches externes de l'étoile. Un quasar a la particularité de rayonner dans toutes les longueurs d'ondes, des ondes radio, les plus longues, aux rayons gamma, les plus courts.

De nos jours, en étudiant la répartition des quasars dans l'Univers (on en connaît plus de 10 000), on s'aperçoit qu'ils sont majoritairement dans une zone de 10 à 13 milliards d'al. Ce sont donc des objets formés dans les premiers temps de l'Univers. Le plus proche, et le plus jeune est 3C 273, situé à environ 2 milliards d'al (avec une magnitude visuelle apparente de 13), et fait exception.

A noter qu'à l'époque où les Quasars étaient en grand nombre, l'Univers était environ 3 à 4 fois plus petit qu'actuellement, c'est-à-dire que les galaxies, à grande échelle, étaient plus proches dans le même rapport.

Les radiogalaxies, qui ont permis la découverte des quasars, sont en fait peu nombreuses (10% de l'ensemble). La forme du spectre est très variable, et permet de distinguer des sous-classes de quasars, dont les caractéristiques observationnelles varient en fonction de l'angle selon lequel le quasar est vu.

Le bestiaire des Quasars

Comme vu précédemment, l'aspect d'un quasar change selon l'angle de visée. D'autre part, ils sont plus ou moins lumineux dans certaines longueurs d'ondes, et peuvent avoir des périodes de variation diverses.

Historiquement, on a découvert certains objets sans savoir que c'était des quasars. Ce sont les objets suivants :

- Blazars : ne possèdent pas de raies en émission.
- Galaxies de Seyfert 1 : Objets avec de nombreuses raies en émission larges (noyau lumineux et bleu).
- Galaxies de Seyfert 2 : Les raies en émission sont étroites.
- OVV : Objets Violamment Variables.
- BAL : Broad Absorption Lines (Bandes d'absorption larges).

Les galaxies de Seyfert sont des galaxies à noyau moins actif que les Quasars, et moins éloignés de nous.

La source de l'énergie des quasars

L'énergie nucléaire est incapable d'expliquer la dissipation de l'énergie des quasars, compte tenu des dimensions de ceux-ci.

Il est rappelé que les étoiles tirent leur énergie de la transformation de l'Hydrogène en Hélium par des réactions nucléaires. Une partie de la masse des atomes y est transformée en énergie avec un rendement très faible (moins de 1%). Un Quasar dépense en énergie l'équivalent de la désintégration de 15 Soleils entiers en 1 an !

Un seul autre phénomène physique peut expliquer la débauche d'énergie des quasars, c'est l'énergie gravitationnelle, si elle fait intervenir des masses très importantes. Les trous noirs sont ces objets capables d'engendrer, dans des espaces de la taille du système solaire, plus de mille fois la luminosité de la Galaxie, pour une masse de plusieurs dizaines ou centaines de millions de Soleils. En outre, ce modèle explique que les quasars rayonnent dans toutes les longueurs d'ondes.

Que se passe-t-il à proximité des trous noirs ?

Le principe du trou noir est d'attirer vers lui toute chose. Une fois capturé, rien ne peut en sortir, pas même la lumière. Avant d'être engloutie, la matière attirée par le trou noir tombe sur celui-ci en spiralant, et en formant un "disque d'accrétion". Cette matière est accélérée à des vitesses extrêmes, et les gigantesques forces de marée sont capables de déchiqueter les étoiles.

Le trou noir ne pouvant émettre par lui-même de lumière et ainsi être détecté, c'est la matière située autour de lui qui est responsable d'émissions de lumière dans toutes les longueurs d'ondes.

C'est donc la matière du disque d'accrétion (gaz, poussières, étoiles...), accélérée par les forces de gravitation, qui rayonne des puissances énormes, avant d'être définitivement engloutie dans le trou noir.

L'énergie ainsi rayonnée explique la luminosité des Quasars.

Un trou noir est un objet de petite taille. Un trou noir de plusieurs milliards de masses solaires a une dimension de l'ordre du système solaire (une dizaine d'heures-lumière). Le modèle du trou noir explique également la taille des Quasars déduite des périodes de variation.

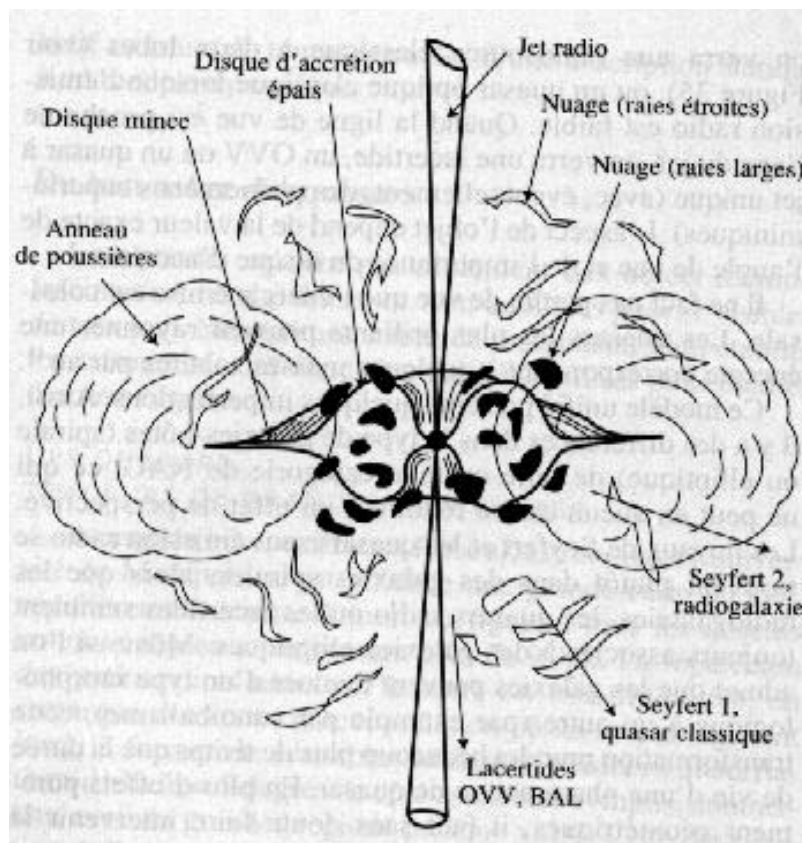
Ce modèle rend compte des émissions dans toutes les longueurs d'ondes. En effet, la matière va rayonner dans les très courtes longueurs d'ondes au plus près du trou noir, puis, selon l'éloignement au centre, vers les longueurs d'ondes plus longues.

Modèle de Quasar

L'état actuel des connaissances permet d'avancer les hypothèses suivantes :

Les quasars sont des galaxies très éloignées, donc existant dans les premiers milliards d'années de l'Univers. Il n'y a pas de Quasar récents, donc proches. La matière ayant été consommée dans les premiers temps de l'existence des galaxies, les trous noirs qu'elles recèlent sont aujourd'hui beaucoup plus sages, faute d'être alimentés par un copieux disque d'accrétion.

La matière de ces galaxies tourne autour d'un trou noir très massif en formant un disque d'accrétion dont le diamètre n'excède pas deux ou trois années-lumière.



Les bords intérieurs du disque, là où la matière gravite à des vitesses proches de celle de la lumière, juste avant d'être engloutie, émettent des rayons gamma très énergétiques par de minces faisceaux tournant dans l'espace. Nous percevons les bouffées gamma lorsque le faisceau passe sur la trajectoire de la Terre.

Aucune étoile n'existe à cet endroit, elles sont déchiquetées par les forces de marée.

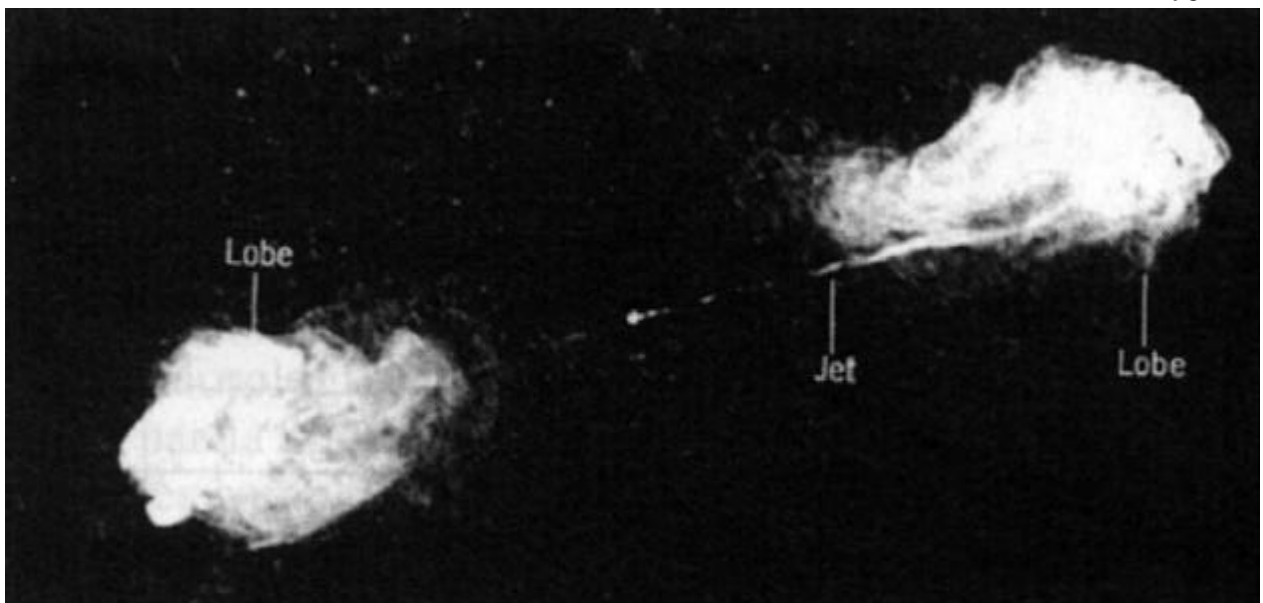
Un peu plus loin, toujours dans le disque, sont émis les rayons X (environ 10% de l'énergie total, un record !). L'intensité de l'émission varie très rapidement, parfois en quelques minutes, donnant une idée de la taille du phénomène). Ici, la température est de l'ordre de quelques millions de degrés, et les vitesses atteignent le tiers de celle de la lumière. L'observation de rayonnement ultraviolet permet d'affirmer la présence de gaz chaud à environ 100 000 K, peut-être sous forme d'étoiles chaudes et massives.

Dans une sphère située autour et au delà du disque d'accrétion, jusqu'à quelques centaines d'al, se trouvent des nuages denses de gaz et poussières à mouvements internes rapides, responsables de l'émission, dans le domaine visible et infrarouge, de raies larges dans leur spectre. En s'éloignant à plusieurs centaines d'al, ces nuages deviennent moins denses, les mouvements internes se ralentissent, et ils émettent des raies plus fines.

Entourant le disque d'accrétion et dans le même plan, se trouve une concentration dense de matière en forme de tore. Cet anneau, selon l'angle de visée, pourra cacher aux observateurs terrestres certaines caractéristiques des Quasars. Le tore tourne autour du trou noir à une distance de plusieurs dizaines ou centaines d'années-lumière.

Le trou noir génère, par sa masse et sa rotation, un gigantesque champ magnétique le faisant ressembler à un énorme et puissant aimant. Les lignes de force de ce champ ressemblent, de par leur forme, à celui de la Terre, et passent par les pôles, dans les deux directions perpendiculaires au plan du disque d'accrétion. Une partie de la matière située dans la sphère éloignée du centre, est canalisée par ces lignes de force du champ magnétique et est expulsée violemment en formant des jets de matière, perpendiculaires au disque, et émettant dans les ondes radio. Pour l'observateur terrestre, ce sont les radiogalaxies, qui émettent dans deux lobes situés de part et d'autre d'un point contenant le trou noir. La taille des lobes peut être supérieure à celle de la galaxie qui abrite le trou noir. Les mesures de vitesses effectuées sur la matière éjectée ainsi donnent des valeurs supérieures à la vitesse de la lumière. Ce phénomène supraluminique n'est qu'apparent, et s'explique par des considérations géométriques complexes.

Jets et lobes de Cygnus A



Centaurus A et son noyau actif en gros plan



Tous les quasars sont des galaxies à noyau actif. Mais tous n'ont pas le même aspect, vu de la Terre.

Si le Quasar est vu presque de face, presque perpendiculairement au plan du disque d'accrétion, les émissions gamma et X sont enregistrées, les nuages denses sont visibles et les spectres présentent des raies larges. Les lobes radio émettent dans une direction proche de l'observation et se distinguent peu. Nous nous trouvons devant une galaxie de Seyfert 1.

Si l'angle de vue est exactement de face, les jets radio sont exactement dans l'axe de visée, et cachent les émissions des nuages de gaz et poussières. Peu ou pas de raies sont visibles, nous observons un Blazar.

Si le Quasar est vu par la tranche, le tore de poussières cache la vue des nuages denses. Seul le halo de poussière diffus est repéré par la présence de raies étroites. C'est une galaxie de Seyfert 2. Toute la géométrie des lobes radio est visible.

La thèse alternative

Certains ont imaginé et reconnus par l'observation, la possibilité de la présence de nombreuses étoiles massives au centre des quasars, en lieu et place du trou noir. Ces étoiles de plusieurs dizaines de masses solaires (la température de surface avoisinant 100 000 K) seraient au nombre de quelques millions dans un rayon de 5 al ! Très massives, leur vie est courte et les plus grosses explosent rapidement, entraînant dans leur sillage des explosions en chaîne. Mais cette hypothèse, si elle rend bien compte des émissions énergétiques et du spectre de ces objets, n'explique nullement la présence des lobes radio. De plus, aucune supernova n'est capable d'expliquer les mouvements de rotation de matière à des vitesses proches de celle de la lumière.

Formation des quasars

Le trou noir supermassif s'est-il formé dans une galaxie, et a-t-il grandi par accrétion de la matière environnante ? S'est-il formé par effondrement d'un immense nuage de matière ? Il aurait alors attiré à lui d'autres nuages en formant des étoiles et une galaxie.

C'est la question, sous sa forme cosmologique, de l'antériorité de l'œuf ou de la poule. Le débat est ouvert pour encore longtemps, car la naissance des Quasars est encore plus lointaine, et probablement beaucoup moins lumineuse que le stade brillant décrit plus haut.

Conclusions

La moitié des Quasars connus sont situés dans des galaxies en interaction proche, ou en cours de fusion (ce qui alimente en matière fraîche le trou noir central).

Ils se sont formés tôt dans la vie de l'Univers. Le trou noir central a dévoré avidement la matière située près du centre, émettant des quantités fabuleuses d'énergie dans toutes les longueurs d'ondes. Progressivement, la matière l'alimentant s'est fait de plus en plus rare, et son énergie a décliné. On suspecte aujourd'hui des trous noirs au centre des grandes galaxies comme la nôtre, et qui seraient les restes de quasars endormis...

Les Quasars présentent un intérêt important, donnant des informations précieuses sur le passé reculé et tumultueux de l'Univers.

De par leur éloignement ils peuvent être sujets, la lumière voyageant sur de très grandes distances, à des phénomènes de lentilles gravitationnelles, si une galaxie plus proche est située sur son parcours. Sa luminosité est alors accentuée, et plusieurs images du même Quasar peuvent apparaître.

Sources : Cahier Clairaut n°91 (CLEA)
Cours du CNED : Astronomie, approfondissement (L. Gouguenheim)
L'UNIVERS DES GALAXIES (Collectif Hachette)
Les trous noirs (JP. Luminet)
Les Galaxies (D. Proust et C. Vanderriest)