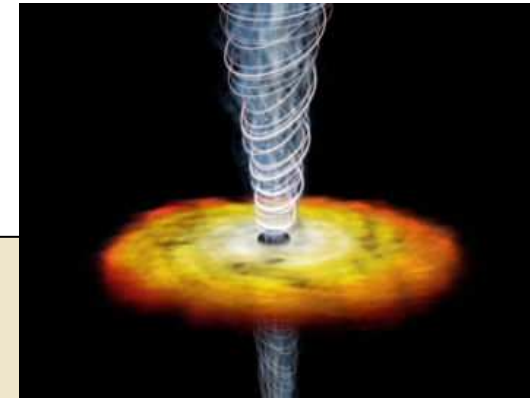


Quasar 95

Club d'astronomie de VALMONDOIS



Les Quasars

Jean-Pierre Maratrey - mars 2008

Définitions



Ethymologique :

Contraction de **QUASi** Stellar Radio Source

Physique :

Objet astronomique d'apparence stellaire

très lointain

très lumineux

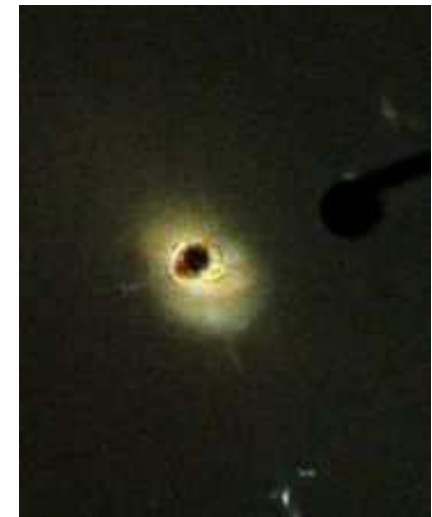
très compact

Historique

Les progrès des radars pendant et après la seconde guerre mondiale ont été très rapides et ont fait progresser du même coup la radioastronomie.

Un des laboratoires en pointe dans ce domaine était celui de Cambridge, en Angleterre. Son principal travail après la guerre fut de répertorier et spectrographier les sources radio du ciel.

Au début des années 60, les spectres de 2 sources radio du troisième catalogue de Cambridge (3C48 et 3C273) présentaient des raies en émission non interprétées (en général, les sources radio donnent des raies d'absorption).



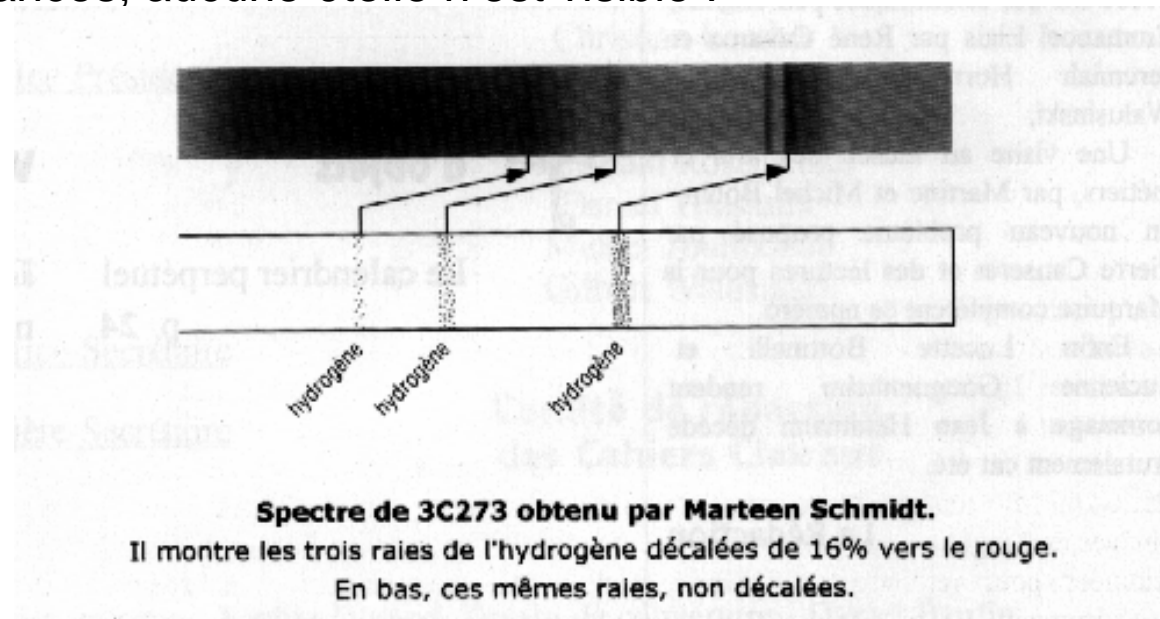
3C273 vu par Hubble

Historique

On doit à Jesse Greenstein et à Marteen Schmidt la reconnaissance dans ces spectres des raies de l'hydrogène, mais décalées par rapport à leur position sur Terre.

Le phénomène du RedShift était connu, mais aucun objet n'en présentait un si fort. A cette époque, ce sont les plus grands RedShifts (donc les plus grandes distances) jamais mesurés : 0,16 pour 3C273 et 0,37 pour 3C48.

A ces distances, aucune étoile n'est visible !



Caractéristiques des quasars

Il devint évident que ces objets radio n'étaient pas des étoiles, mais assez vite, les contreparties dans le domaine visible furent trouvées, de forme ponctuelle, ressemblant à des étoiles.

Voir des objets si lointains signifiait qu'ils étaient extrêmement lumineux. Leur luminosité intrinsèque est d'environ 1 000 fois celle de notre galaxie toute entière !

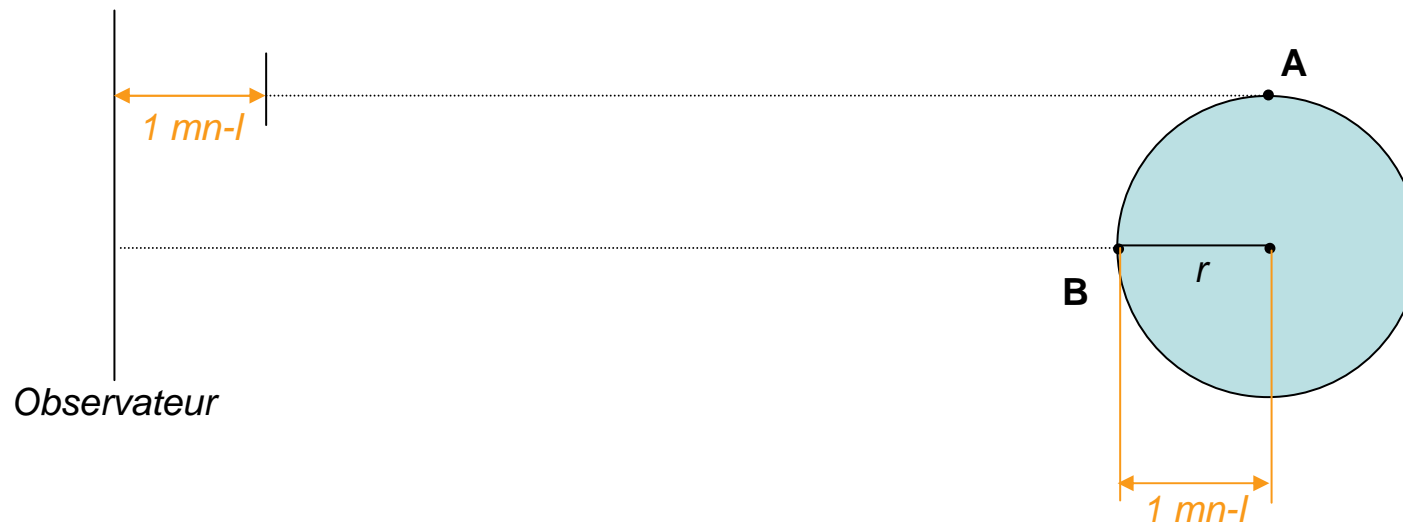
Les distances mesurées se chiffrent en milliards d'années-lumière.

Mais le plus étonnant était l'estimation de leur taille.

Caractéristiques des quasars

Un objet qui varie rapidement en luminosité est petit.

Une variation en quelques minutes implique une taille maximale de quelques minutes-lumière.



Imaginons que la luminosité de l'étoile double brusquement. Même si ce changement est instantané, l'observateur ne percevra ce changement que sur un temps étalé de r/c . Les photons émis par A arriveront à l'observateur un temps r/c après ceux émis en B.

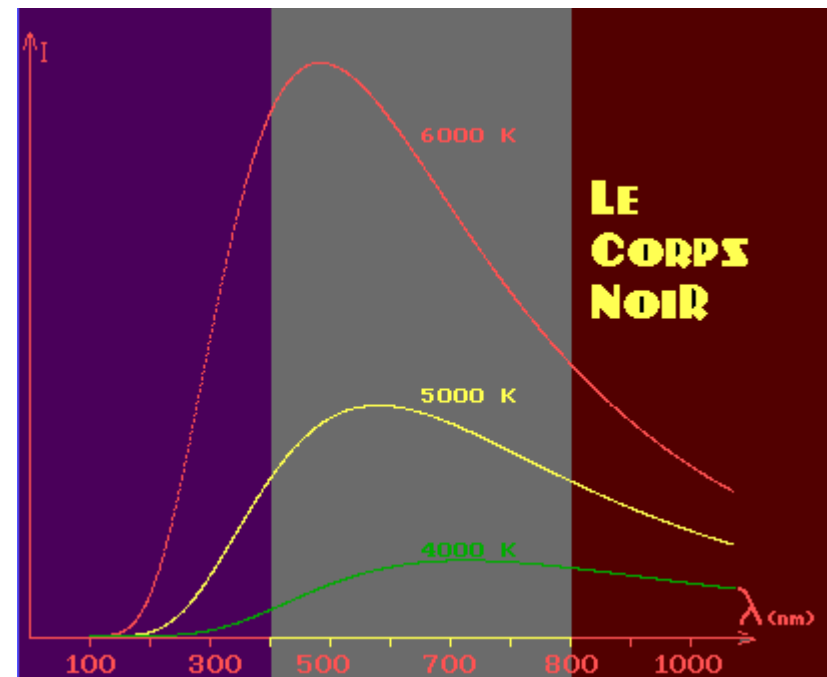
Le temps caractéristique de variation du phénomène, divisé par la vitesse de la lumière donne la taille maximale que l'objet peut avoir.

Caractéristiques des quasars

Autre argument montrant que les quasars ne sont pas des étoiles :

Leur spectre ne ressemble pas à celui d'une étoile, en particulier, la répartition de l'énergie dans le spectre est très différente de celle des étoiles.

Une étoile rayonne comme un corps noir, c'est-à-dire que la répartition de l'énergie ne dépend que de la température. C'est Planck qui a modélisé cette répartition en forme de cloche dissymétrique possédant un maximum variant avec la température de surface de l'étoile.



Un quasar ne rayonne pas comme un corps noir. Il rayonne dans toutes les longueurs d'ondes, des rayons gamma aux ondes radio.

Caractéristiques des quasars

On connaît aujourd'hui plus de 10 000 quasars, leur spectre, leur RedShift, et donc leur distance (approximative).

Les quasars sont très majoritairement situés dans la zone allant de 10 à 13 milliards d'années, et dont l'âge avoisine les 10 à 13 milliards d'années.

Ce sont donc des objets très lointains, formés dans les premiers temps de l'univers, dont l'âge est estimé à 14 milliards d'années.

3C273 fait exception, avec une distance de « seulement » 2 milliards d'années, avec une magnitude apparente de 13.

A noter que lorsque les quasars étaient en grand nombre, l'univers était 3 à 4 fois plus petit qu'actuellement, plus exactement, les galaxies étaient, à grande échelle, 3 à 4 fois plus proches.

Bestiaire des quasars

L'aspect, le spectre d'un quasar change selon l'angle de visée. Ils sont plus ou moins lumineux dans certaines longueurs d'ondes, selon différents axes, ont des périodes de variation très diverses.

On a découvert historiquement des objets sans savoir que c'était des quasars. Les noms suivants leur ont été donnés :

Les BLAZARS ne possèdent pas de raies en émission.

Les galaxies de SEYFERT 1 ont de nombreuses raies larges en émission.

Les galaxies de SEYFERT 2 ont de nombreuses raies étroites en émission.

Les OVV sont les Objets violemment variables

Les BAL ont de larges bandes d'absorption (Broad Absorption Lines)

Source d'énergie des quasars

Les quasars sont des galaxies hyperactives.

L'énergie nucléaire telle qu'on la rencontre dans les étoiles, même dans les supernovas, est incapable d'expliquer l'origine de l'énergie des quasars.

Un quasar dépense en énergie l'équivalent de la désintégration complète de 15 soleils en 1 an !

Le seul autre phénomène capable de rendre compte de la débauche d'énergie des quasars est l'énergie gravitationnelle, si elle fait intervenir des masses colossales.

Les trous noirs sont ces objets capables d'engendrer, dans des espaces de la taille du système solaire, plus de 1 000 fois la luminosité de la Galaxie, pour une masse de plusieurs dizaines ou centaines de millions de soleils.

En outre, ce modèle rend bien compte du rayonnement des quasars dans toutes les longueurs d'ondes.

Source d'énergie des quasars

Que se passe-t-il à proximité de tels trous noirs ?

Le trou noir attire vers lui irrémédiablement toute chose, même la lumière. Une fois capturé, rien ne peut en sortir.

Mais avant d'être engloutie, la matière attirée vers le trou noir tombe sur lui en spiralant, en formant un disque appelé « disque d'accrétion ».

La matière accrétée est accélérée à des vitesses extrêmes, et des forces de marées gigantesques sont capables de déchiqueter des étoiles.

Comme rien ne s'échappe du trou noir, c'est la matière du disque qui est responsable des émissions de lumière dans toutes les longueurs d'ondes.

Source d'énergie des quasars

Un trou noir est un objet de (relativement) petite taille. Un trou noir de la taille du système solaire (environ 10 heures-lumière) aurait une masse plusieurs milliards de fois celle du soleil.

La matière accélérée a une vitesse assez lente loin du trou noir, et de plus en plus rapide en s'y approchant, jusqu'à atteindre des vitesses relativistes.

La matière rayonnera à de très courtes longueurs d'ondes à proximité du trou noir (rayonnement gamma, X), et de plus en plus longues en s'en éloignant (X, UV, visible, IR, puis micro-ondes et radio).

Modèle de quasar

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

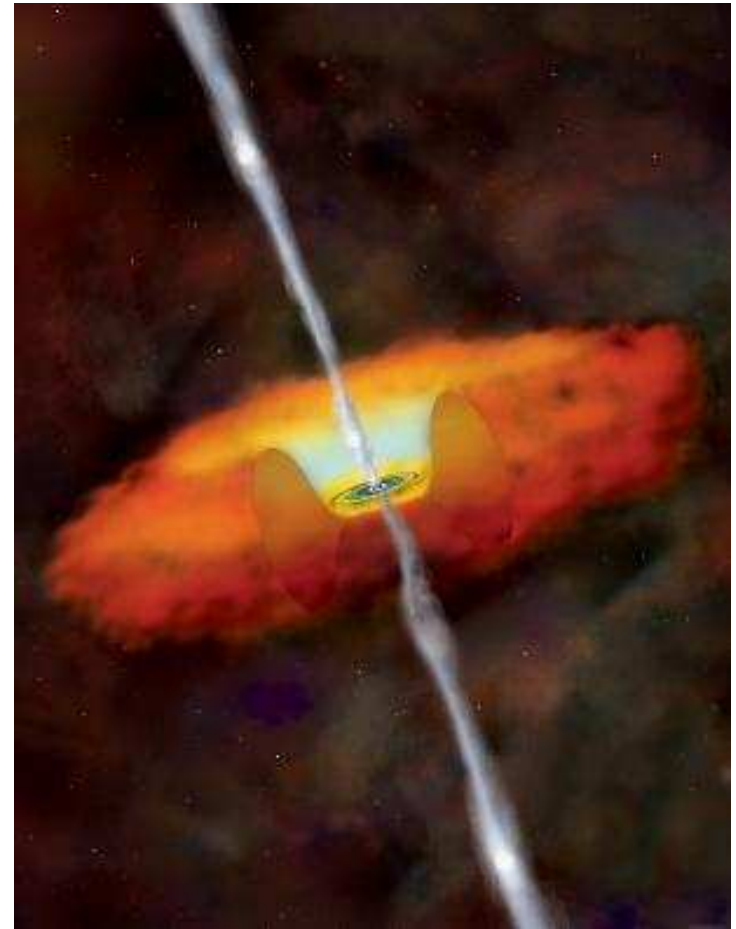
Les quasars sont des galaxies très éloignées, donc existant dans les premiers milliards d'années de l'univers. Il n'y a pas de quasar récent, jeunes et proches. La matière ayant été consommée dans les premiers temps de l'existence des galaxies, les trous noirs qu'elles recèlent sont aujourd'hui beaucoup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

La matière des quasars tourne autour d'un trou noir très massif en formant un disque d'accrétion principal dont le diamètre n'excède pas 2 ou 3 al.

Modèle de quasar

Les bords intérieurs du disque, là où la matière gravite à des vitesses proches de celle de la lumière, émettent juste avant d'être engloutie des rayons gamma très énergétiques par de minces faisceaux émis dans l'axe de rotation du trou noir. Nous percevons cette émission lorsque la Terre se trouve dans son axe.

Aucune étoile n'existe sur ce bord interne. Elles sont déchiquetées par les forces de marées bien avant d'arriver à ce stade.

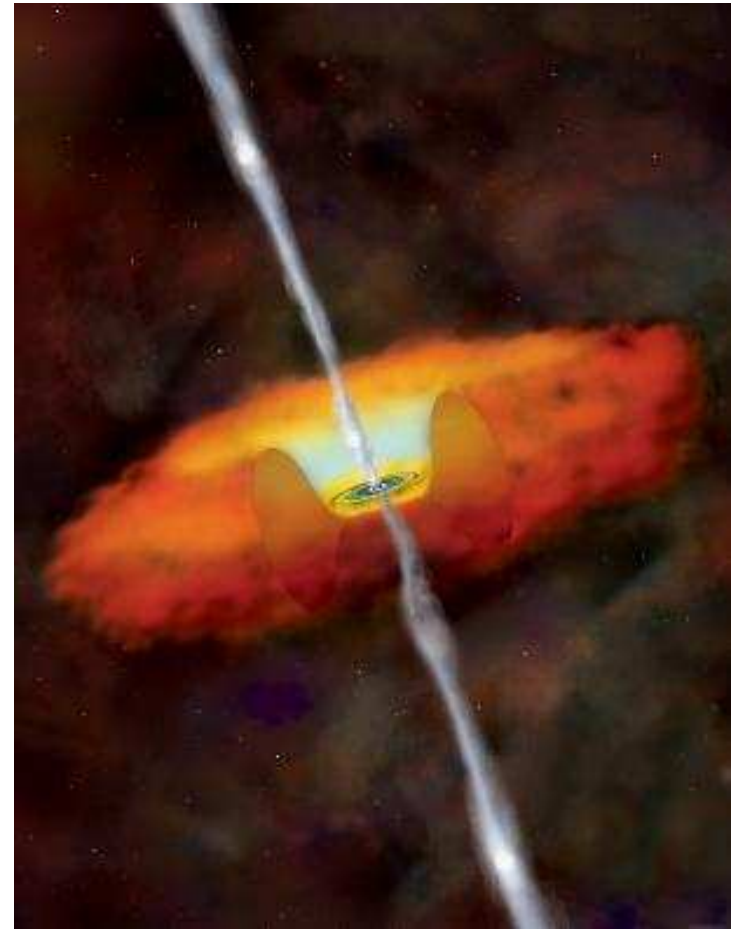


Modèle de quasar

Un peu plus loin sont émis les rayons X, environ 10% de l'énergie totale du quasar ! C'est un record.

L'intensité des émissions dans cette zone varie très rapidement, en quelques minutes, donnant une idée de la taille du phénomène. La température est de l'ordre de quelques millions de degrés, et la matière atteint le tiers de la vitesse de la lumière.

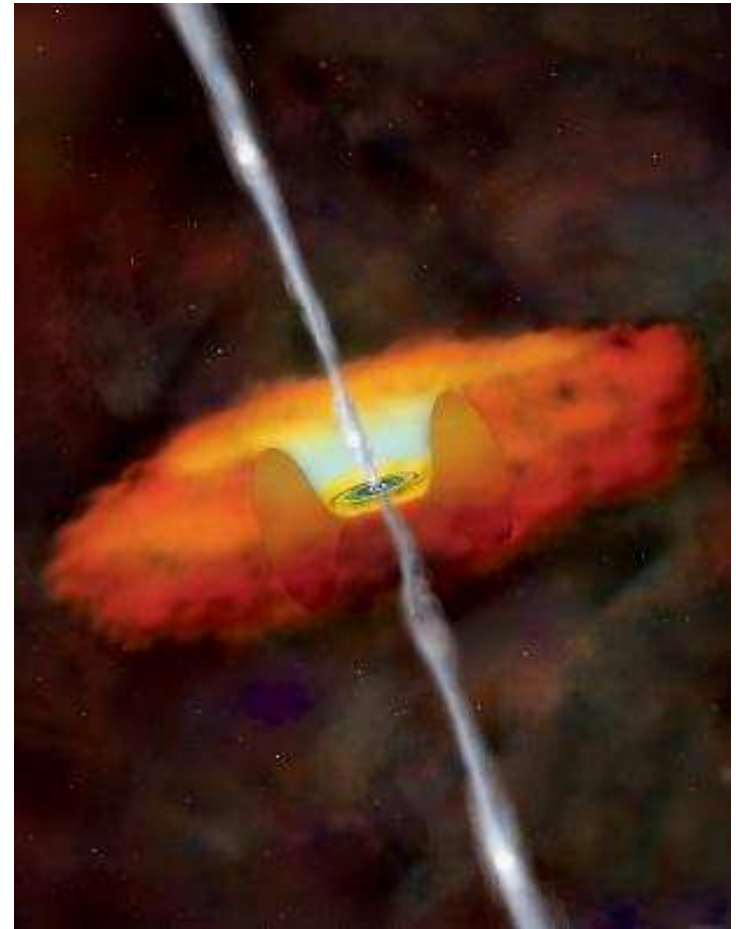
Encore un peu plus loin, l'observation du rayonnement UV permet d'affirmer la présence de gaz chaud vers 100 000 K, probablement sous forme d'étoiles chaudes et massives.



Modèle de quasar

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 de poussières animés de mouvements internes rapides, responsables de l'émission en visible et IR, de raies larges.

En s'éloignant encore, à plusieurs centaines d'al, ces nuages deviennent moins denses, moins chauds, les mouvements internes moins rapides, et les raies des spectres sont plus fines.

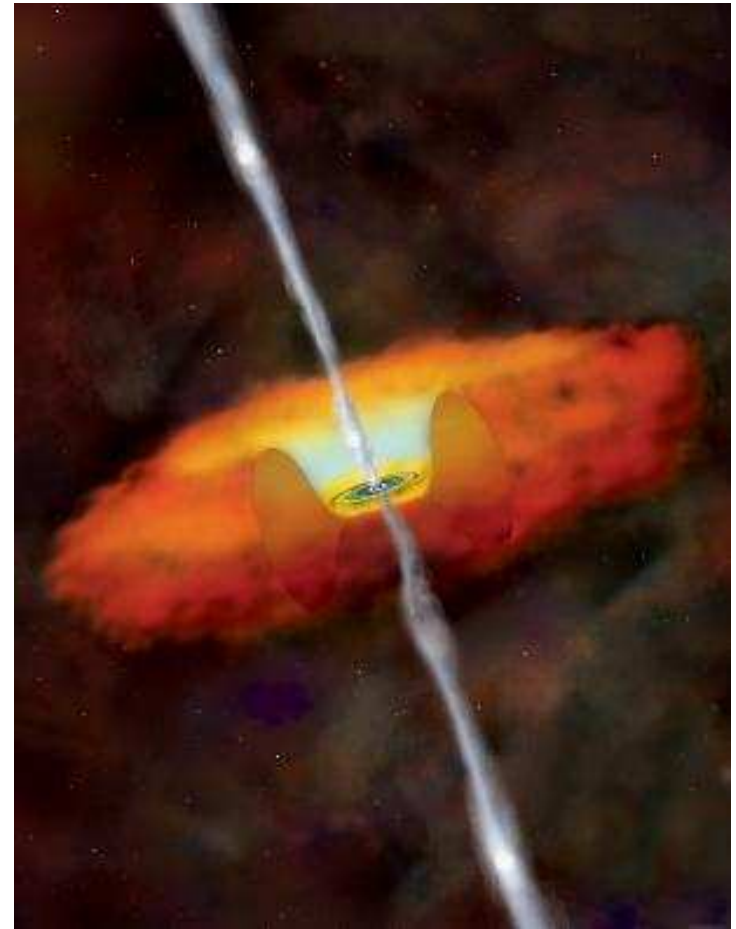


Modèle de quasar

Entourant le disque d'accrétion, et dans le même plan, se trouve une concentration de matière dense en forme de tore.

Cet anneau, selon l'angle de visée, pourra cacher aux observateurs terrestres certaines caractéristiques des quasars, en particulier celles du disque d'accrétion.

Le tore tourne autour du trou noir à quelques dizaines ou centaines d'al.

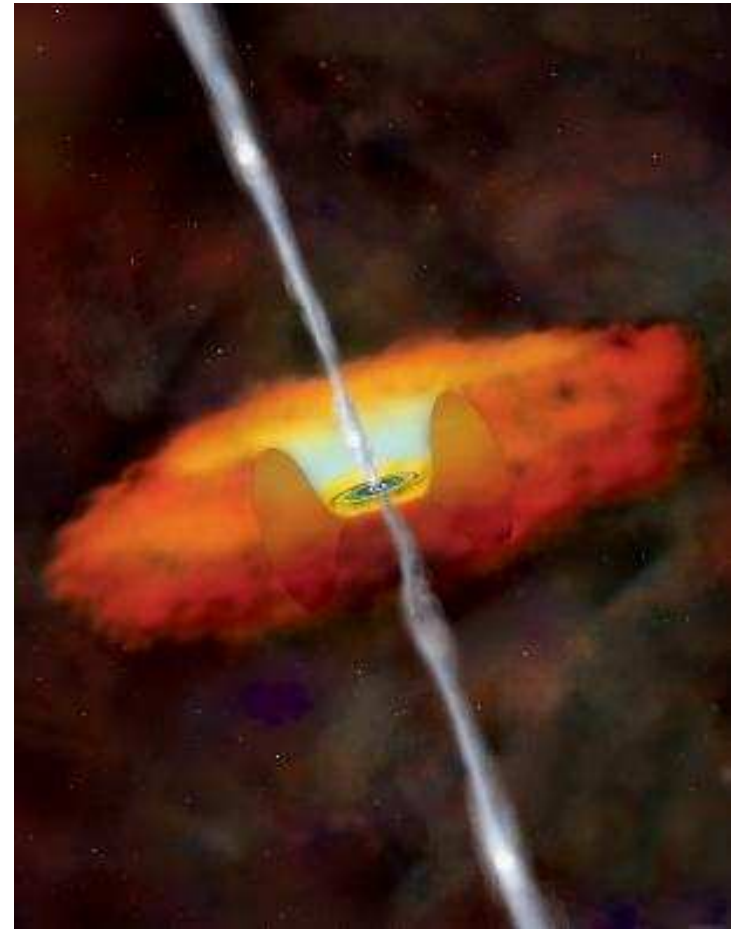


Modèle de quasar

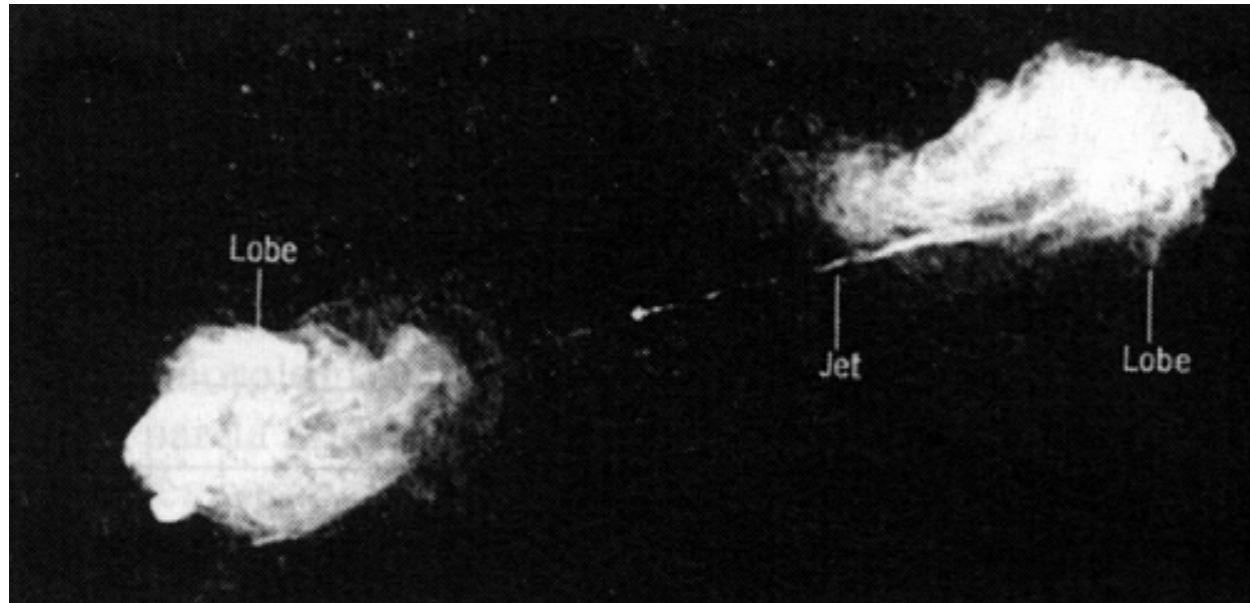
Par sa masse et sa rotation, le trou noir engendre un gigantesque champ magnétique le faisant ressembler à un énorme et puissant aimant.

Les lignes de force de ce champ ressemblent à celui, beaucoup plus modeste, de la Terre, passant par les pôles dans deux directions perpendiculaires au plan de rotation du disque d'accrétion.

Une partie de la matière éloignée du centre est canalisée par ces lignes de champ et expulsée violemment en formant des jets de matière perpendiculaires au disque, et émettant dans le domaine radio.



Modèle de quasar



Pour l'observateur terrestre, ce sont les radio galaxies. Elles émettent dans deux lobes situés de part et d'autre d'un point contenant le trou noir. L'axe de rotation du trou noir n'est pas forcément confondu avec l'axe des pôles magnétiques.

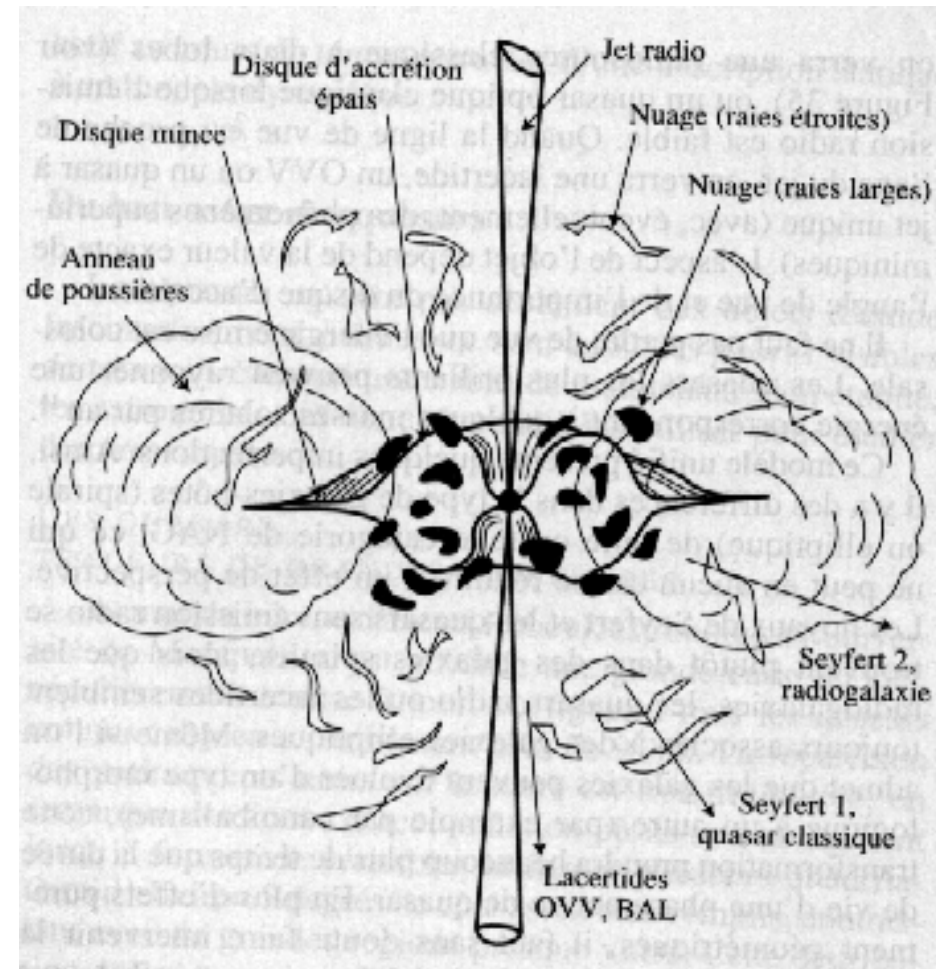
La taille des lobes peut être supérieure à celle de la galaxie qui abrite le trou noir actif.

Des mesures de vitesses effectuées sur la matière éjectée donnent des valeurs supérieures à la vitesse de la lumière ! Le phénomène supraluminique n'est qu'apparent et s'explique par des considérations géométriques.

Aspect des quasars

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

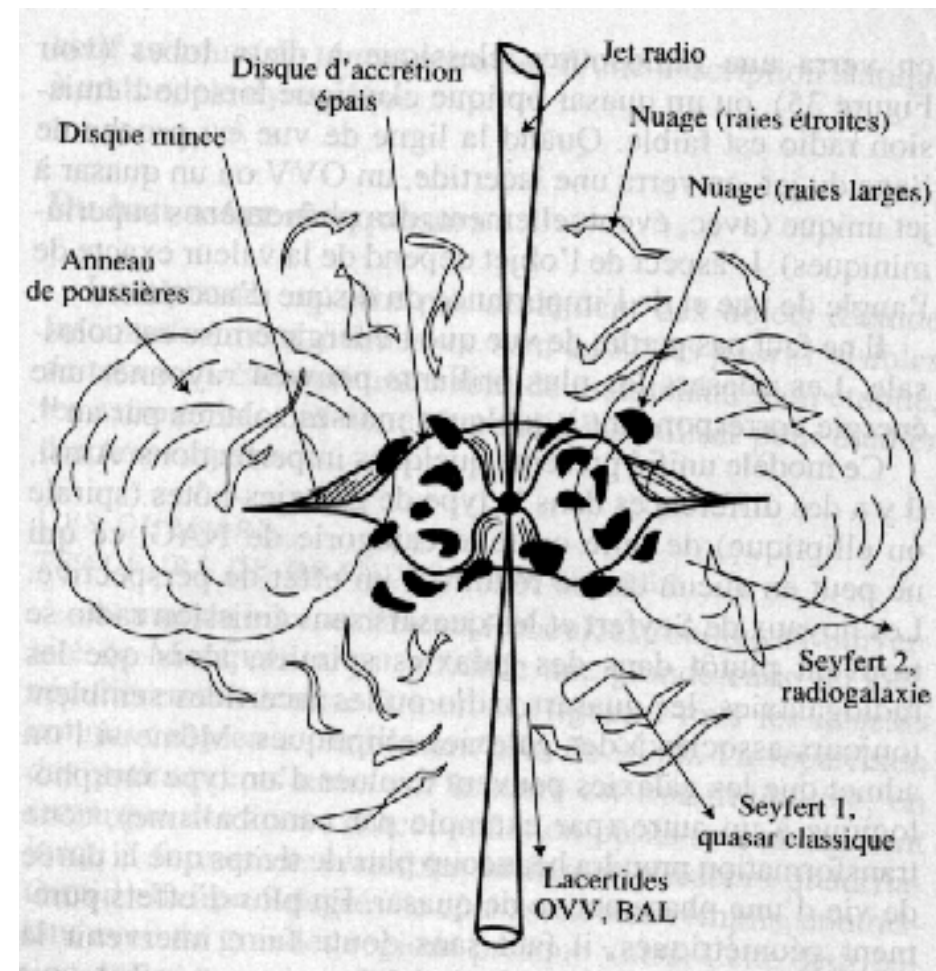
S'il est vu de trois quarts face, les émissions gamma et X sont enregistrées. Les nuages denses et chauds sont visibles et le spectre présente des raies larges. Les jets radio sont pas ou peu visibles. C'est une galaxie de Seyfert 1.



Aspect des quasars

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

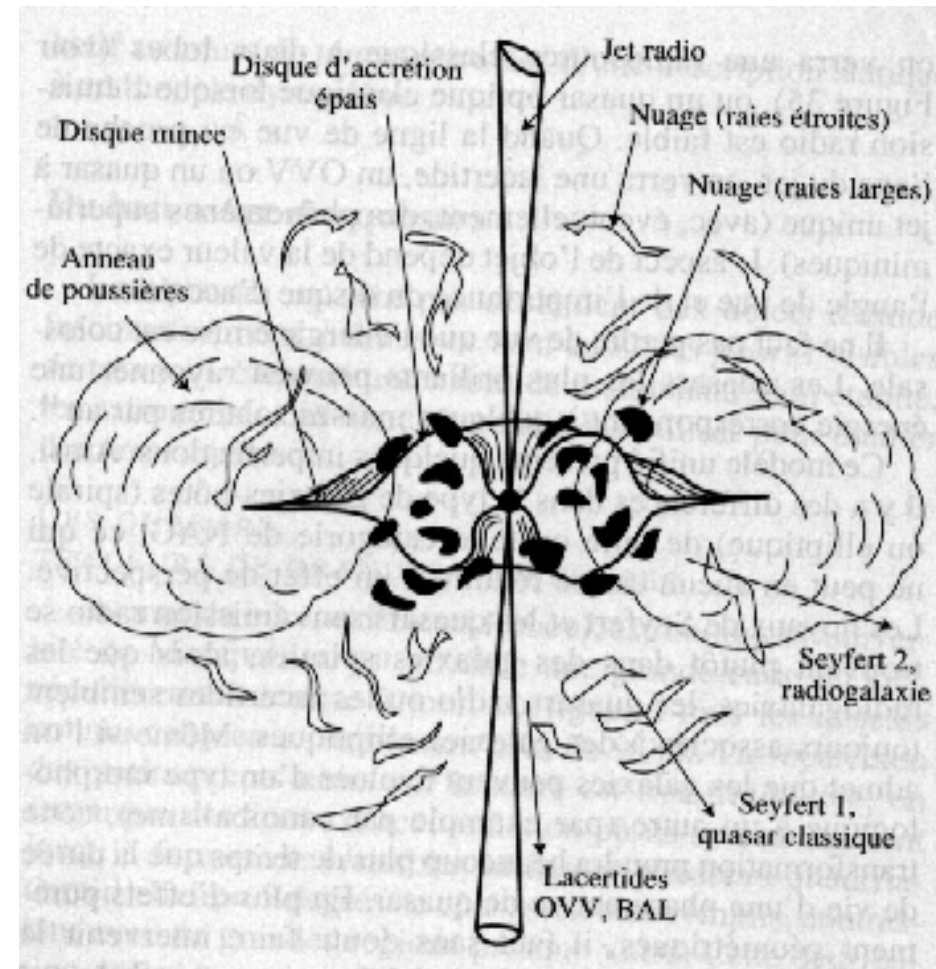
S'il est vu de face, les jets radio sont visibles et cachent les émissions des nuages de gaz et poussières. Pas ou peu de raies d'émission sont visibles. C'est un blazar.



Aspect des quasars

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

S'il est vu par la tranche, le tore de poussières cache les nuages denses. Seul le halo de poussières et de gaz sont repérés et les raies d'émission sont étroites. Les lobes radio sont visibles. C'est une galaxie de Seyfert 2.



La thèse alternative

Certains ont imaginé la possibilité de présence dans les quasars d'une forte densité d'étoiles massives, en lieu et place du trou noir.

Ces étoiles auraient une masse de plusieurs dizaines de soleils, et une température de surface d'environ 100 000K.

Elles seraient quelques millions dans un rayon de 5 al.

Très massives, leur durée de vie serait très courte, et les plus grosses exploseraient en supernova très rapidement, entraînant dans leur sillage des explosions en chaîne.

Cette hypothèse rend bien compte des émissions énergétiques et du spectre de ces objets, mais elle n'explique pas la présence des lobes radio.

De plus, une supernova est incapable d'expliquer les mouvements de rotation de matière à des vitesses relativistes, ni de justifier les champs magnétiques observés.

Formation des quasars

C'est une bonne question, merci de l'avoir posée !

Le trou noir supermassif s'est-il formé dans une galaxie préexistante, 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 d'autres nuages de matière en formant des étoiles et une galaxie ?

C'est la version cosmologique de l'œuf et de la poule...
Le débat est ouvert...

Conclusion

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

Les quasars se sont formés très tôt dans la vie de l'univers.

Le trou noir a dévoré rapidement tout ce qui passait à sa portée, en émettant des quantités fabuleuses d'énergie dans toutes les longueurs d'ondes.

Progressivement, la matière s'est tarie et le quasar a perdu de sa splendeur. On suspecte aujourd'hui les trous noirs de centre des galaxies comme la Voie Lactée d'être des restes de quasars endormis.

L'étude des quasars est d'une grande importance en cosmologie, en donnant des renseignements précieux sur le passé reculé de l'univers.

Un dernier mot : comme ils sont très éloignés de nous, des phénomènes de lentilles gravitationnelles peuvent se produire et l'on peut observer des quasars multiples, ou simplement plus lumineux qu'ils ne sont en réalité.

Biblio sommaire

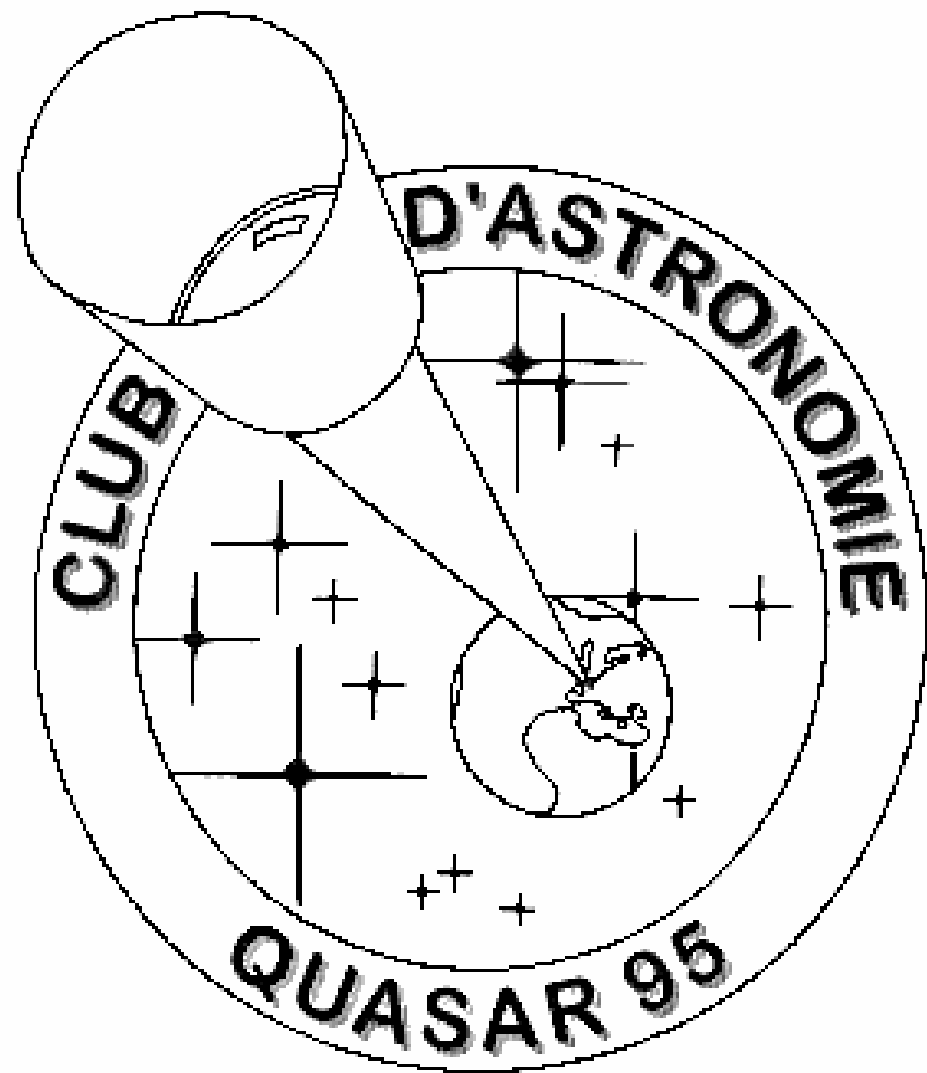
Cahiers Clairaut du CLEA n°91

Cours de CNED : astrophysique, approfondissement (L. Gouguenheim)

L'univers des galaxies (Collectif Hachette)

Les trous noir (JP. Luminet)

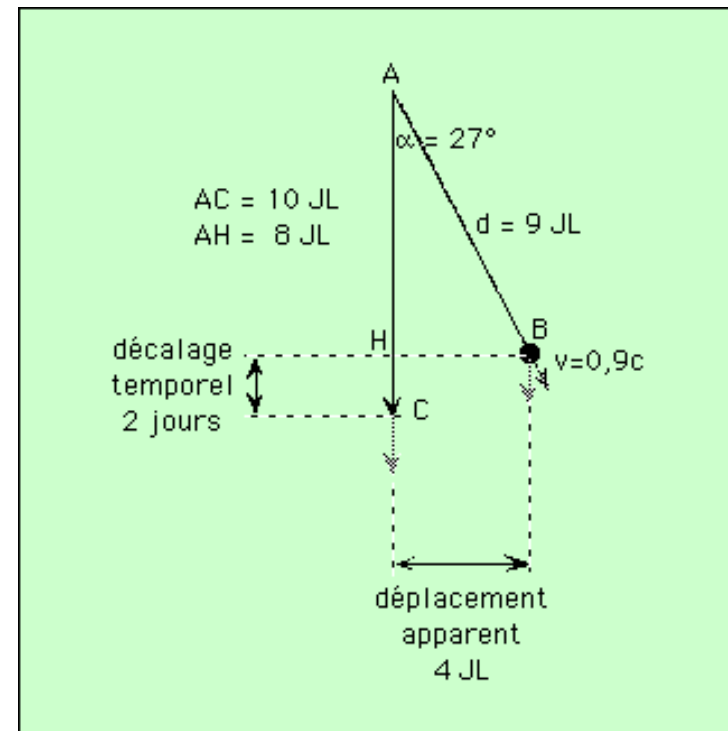
Les Galaxies (D. Proust et C. Vanderriest)



Vitesses superluminiques

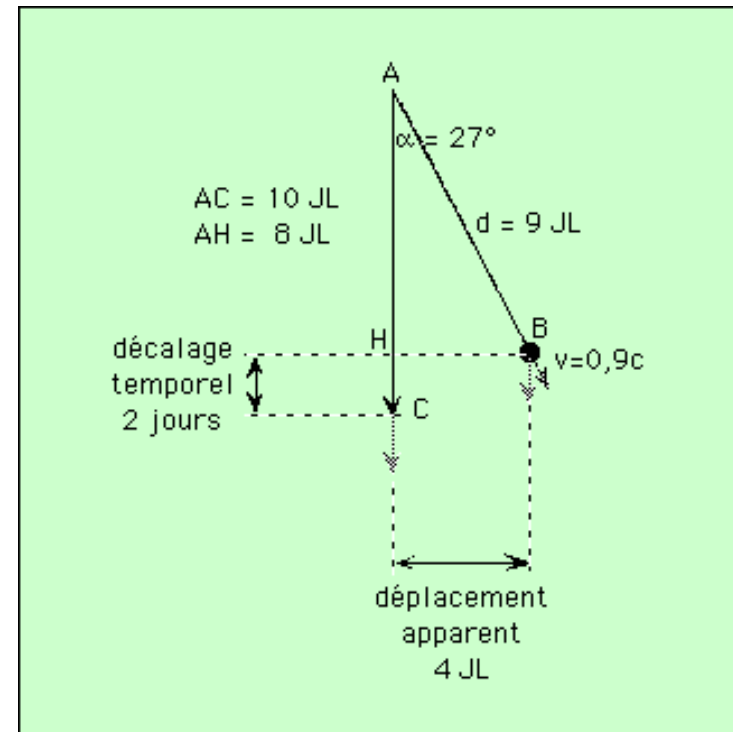
On observe des objets dont le déplacement *apparent* est plus rapide que la lumière. La Relativité n'est pas en défaut, voici l'explication du phénomène :

Considérons un objet qui se déplace de A vers B à une vitesse proche de celle de la lumière : $0,9 c$. La Terre est supposée en bas du dessin. JL signifie jour-lumière, c'est la distance parcourue par la lumière en 1 jour ($1/365^{\text{ème}}$ de l'année-lumière).



A l'instant 0 : au point A, l'objet émet un rayon lumineux en direction de la Terre (vers le bas). Ce rayon voyage à la vitesse c . Au même instant, l'objet quitte A en direction de B à la vitesse $v = 0,9 c$.

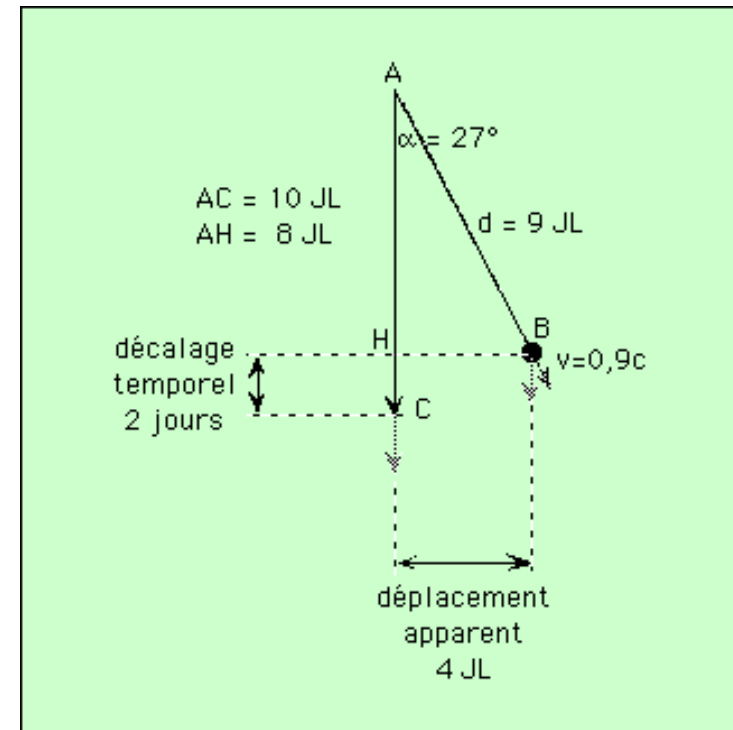
10 jours plus tard : l'objet arrive au point B, et le rayon émis en A arrive au point C. L'objet émet un second rayon lumineux en direction de la Terre. Les 2 rayons voyagent à la vitesse c .



En 10 jours, l'objet a parcouru la distance $AB = v t = 0,9 c \times 10 = 9 \text{ JL}$.

Il s'est rapproché de l'observateur de $AH = AB \cos \alpha = 9 \times 0,888 = 8 \text{ JL}$. Le rayon émis en A est parvenu en C, il s'est rapproché de l'observateur de $AC = c t = 10 \text{ JL}$.

A cet instant, deux rayons se rapprochent donc de la Terre, le premier étant plus proche de $HC = AC - AH = 10 - 8 = 2 \text{ JL}$. Donc le second rayon a un retard de 2 jours sur le premier.



On observera par conséquent l'objet en A (ou H), puis deux jours plus tard on le verra en B. Or la distance entre H et B est $HB = AB \sin \alpha = 9 \times 0,454 = 4,08 \text{ JL}$. Il semblera donc qu'en deux jours l'objet ait parcouru 4 jours-lumière, donc soit animé d'une vitesse double de celle de la lumière !

Pourtant, si on considère les 2 rayons au temps $t = 10$ jours, le premier n'a que 2 jours d'avance sur le second. L'objet est parti depuis 10 jours et a eu le temps, à une vitesse inférieure à celle de la lumière, de se déplacer apparemment de 4 jours-lumière sur la sphère céleste.

