



Astro Exos

MOUVEMENT SUPRALUMINIQUE DU QUASAR 3C 273

LE RÉSULTAT



quasar
3C 273

jet!

$$m - M = 5 \log$$



île de France



Résultats des mesures

Les mesures de distances angulaires et de distances linéaires sont résumés dans le tableau ci-dessous. L'échelle indiquée sur la figure permet de trouver le coefficient de proportionnalité entre L et $\delta\theta$: 9 cm sur la figure représente 32 marcs.

Date	L (cm)	$\delta\theta$ (marcs)	d (pc)
1977,56	1,55	5,51	14,88
1978,24	1,75	6,22	16,80
1978,92	1,85	6,58	17,76
1979,44	1,90	6,76	18,24
1980,52	2,25	8,00	21,60

Une régression linéaire appliquée à ces mesures permet de trouver la vitesse moyenne apparente du globule: $v = 6,85 c$. Étonnant résultat car on trouve une vitesse supérieure à celle de la lumière!

Calculs guidés

Voici les réponses aux questions posées au paragraphe « Interprétation ».

- Si l'on considère que r est très petit devant D on peut écrire que: $D' = D - PQ \cos\theta = D - r \cos\theta$.
- Nous observons la matière éjectée au temps $t_2 = r/v + D'/c$, qui est le temps nécessaire pour que le globule atteigne le point Q augmenté du temps de parcours de la lumière de Q à O .
- La durée Δt qui sépare la première photographie de la seconde est égale à

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{r}{v} \left(1 - \frac{v}{c} \cos\theta \right)$$

- Si l'on note $\beta = v/c$, la relation précédente permet d'écrire la distance parcourue par la matière entre deux photographies en fonction de la durée qui les sépare selon

$$r = \frac{\beta c \Delta t}{1 - \beta \cos\theta}$$

- La vitesse déduite par l'observateur O est égale à $v' = r/\Delta t$. Bien sûr, nous ne pouvons en pratique observer par astrométrie que la composante de la vitesse perpendiculaire à la ligne de visée, soit $v' \sin\theta$. La vitesse apparente du globule est alors donnée par

$$v_{app} = \frac{\beta \sin\theta}{1 - \beta \cos\theta} c$$

- Des essais numériques montrent que si β tend vers 1 avec un angle θ assez petit ($\cos\theta$ tend donc aussi vers 1), la vitesse apparente peut dépasser la vitesse de la lumière. Plus précisément, en dérivant v_{app} par rapport à θ on trouve que la valeur maximale de la vitesse apparente est atteinte quand $\cos\theta = \beta$ et elle vaut $v_{app, max} = \gamma\beta c$, où $\gamma = 1/\sqrt{1-\beta^2}$ est le facteur de Lorentz, qui apparaît aussi dans le phénomène de

Vitesse apparente du jet d'un quasar

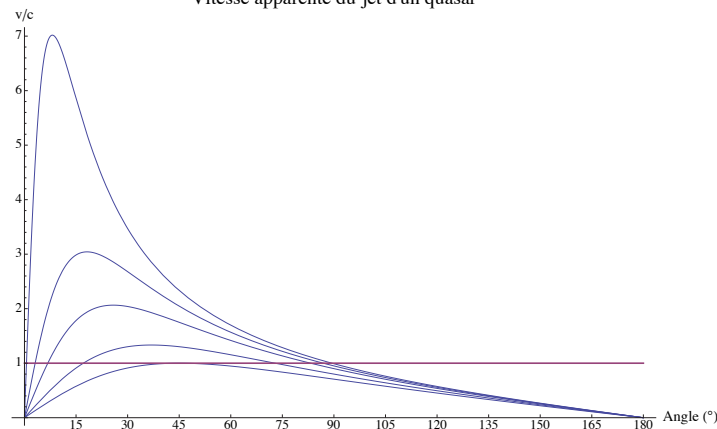


Figure 1: Représentation de v_{app} en fonction de θ pour quelques valeurs de β : de bas en haut nous avons choisi $\beta = 1/\sqrt{2}; 0,80; 0,90; 0,95; 0,99$

dilatation des durées. Cette valeur maximale n'est pas toujours supérieure à c ; ce n'est le cas que si $\beta > 1/\sqrt{2}$.

La **figure 1** montre les variations de v_{app} en fonction de θ pour quelques valeurs de β . Finalement, pourquoi avons-nous trouvé des vitesses supraluminiques? Parce que nous n'avons pas tenu compte du fait que pour nous arriver au même moment, la lumière émise par le quasar et celle émise par la matière du globule éjecté ont dû être émises à des instants différents et donc à des distances différentes.

L'instrument utilisé

Voici les réponses aux questions posées au paragraphe « L'instrument utilisé ».

1. La longueur d'onde est donnée par $\lambda = c/\nu$ où ν est la fréquence de l'onde. Cela donne $\lambda = 2,81$ cm lorsque $\nu = 10,65$ GHz.
2. À un angle de 1° correspond $\pi/180$ radians et 1 seconde d'arc vaut $1/3600$ de degré. Donc 1 marc = $4,84 \cdot 10^{-9}$ radian.
3. La taille du radiotélescope utilisé est donnée par $d = \lambda/(1 \text{ marc})$ ce qui donne $d = 5,81 \cdot 10^6$ m, soit près de 6 000 km !

Pour atteindre la résolution angulaire voulue, aucun radiotélescope n'a la taille désirée. Il a plutôt fallu faire des observations coordonnées de plusieurs radiotélescopes répartis à la surface de la Terre (aux USA et en Allemagne), chacun d'eux se comportant comme des morceaux d'un unique instrument de très grande taille. Cette technique se nomme VLBI, acronyme de *Very Long Baseline Interferometry* (interférométrie à très grande base).

Notes

Astro Exos

Responsables éditoriaux

Roland Lehoucq et Jean-Marc Bonnet-Bidaud

Contributeur

Roland Lehoucq

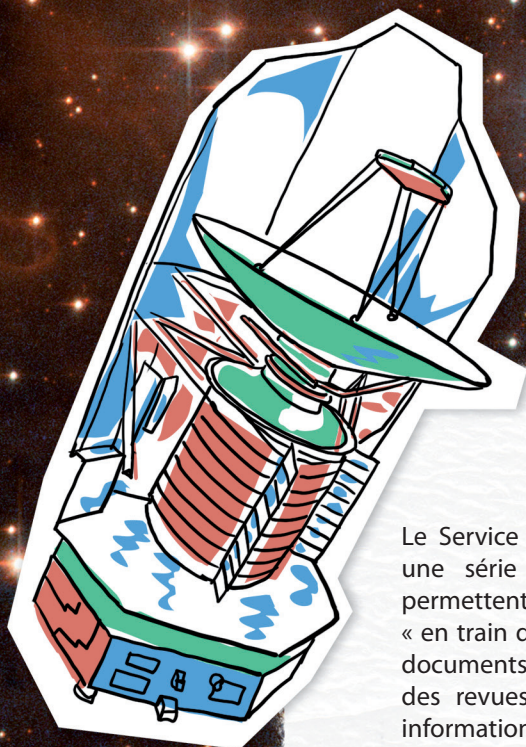
Conception graphique

Aurélié Bordenave, aureliebordenave.fr

Photo de couverture :

Image du quasar 3C 273 prise par le télescope spatial Hubble en lumière visible.





Le Service d'Astrophysique du CEA propose une série d'exercices d'astrophysique qui permettent de se plonger dans la recherche « en train de se faire ». Il s'agit d'analyser des documents extraits d'articles publiés dans des revues scientifiques pour en tirer des informations sur les objets qui peuplent notre univers. Cette activité peut être menée en classe ou en petit groupe d'élèves et permet d'illustrer différents points des programmes de physique-chimie de Première et de Terminale Scientifique.

Cet exercice traite de la méthode qui a conduit à la découverte de jets de matière semblant se déplacer plus vite que la lumière. La mesure et l'interprétation de ce phénomène utilise les notions d'invariance de la vitesse de la lumière, de décalage spectroscopique et de diffraction.

