

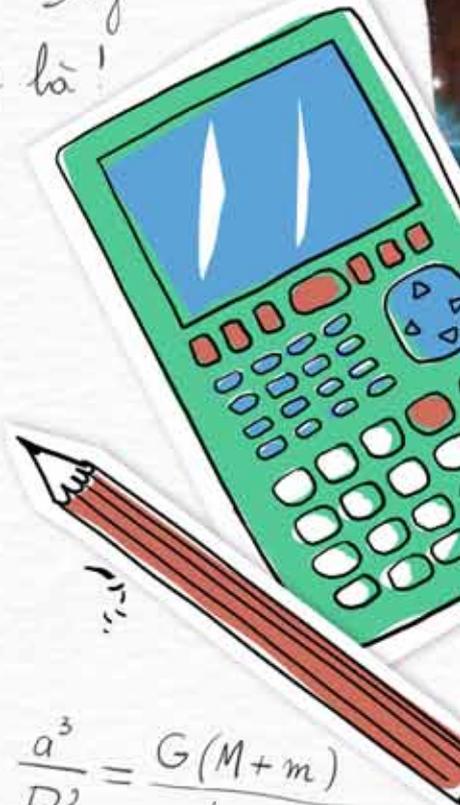
MASSE DU TROU NOIR AU CENTRE DE NOTRE GALAXIE

LE RÉSULTAT



Sagittarius A*

Il est là !



$$\frac{a^3}{P^2} = \frac{G(M+m)}{4\pi^2}$$





Résultat des mesures

Détermination du demi-grand axe de l'orbite de l'étoile S2

Réponse 1 – les positions successives de l'étoile S2 données par le tableau 1 de la partie « Enquête » sont représentées sur la figure 1 (voir page ci-contre).

Réponse 2 – dessiner « au jugé » l'ellipse qui passe au plus près des positions tracées est évidemment un peu délicat. La figure 2 montre la meilleure ellipse possible, qui passe au plus près de l'ensemble des points au sens de la distance quadratique moyenne définie dans l'Enquête. Les valeurs correspondantes des paramètres sont : $a = 0,1136''$; $e = 0,8583$; $\theta = 116,94^\circ$. Elles donnent une distance quadratique moyenne égale à 0,4932.

Réponse 3 – l'ajustement précédent donne un demi-grand axe égal à 0,1136 secondes d'arc. À la distance du centre de la Voie lactée (8000 parsecs) une taille apparente de 2 secondes d'arc correspond à une taille réelle de 92 jours-lumière, le demi-grand axe réel de l'ellipse vaut 5,2 jours-lumière.

Réponse 4 – si la mesure se fait collectivement, il faut faire la moyenne des valeurs obtenues et l'incertitude du résultat est donnée par la dispersion, c'est-à-dire l'écart-type des valeurs obtenues. La valeur publiée par Schödel et al. est de $5,4 \pm 0,4$ jours-lumière.

Détermination de la période orbitale de l'étoile S2

Réponse 5 – en découpant l'ellipse en morceaux d'aires faciles à déterminer (carrés, rectangles, petits triangles) on obtient $A = 5071$. L'unité est arbitraire et n'a pas d'importance car nous allons faire un rapport d'aire pour obtenir la période. Ce qui compte est donc de mesurer les aires avec les mêmes unités. La mesure de l'aire balayée pendant la durée $\Delta t = 11,228$ ans des observations donne $\Delta A = 3454$. La période de l'étoile S2 est donc égale à $P = 16,5$ ans. La période obtenue par les astronomes de l'ESO est de $15,2 \pm 0,6$ ans.

Réponse 6 – la méthode de la pesée, non détaillée ici, donnerait sensiblement les mêmes résultats.

Détermination de la masse totale du système

Réponse 7 – à partir des mesures précédentes, nous sommes maintenant capables de calculer la masse totale du système trou noir + étoile S2 grâce à la 3^e loi de Kepler. Il faut commencer par harmoniser les unités en exprimant le demi-grand axe a en mètres et la période P en secondes. On obtient successivement : $a = 1,4 \times 10^{14}$ m et $P = 5,2 \times 10^8$ s conduisant à une masse totale de $5,3 \times 10^{36}$ kg soit $2,7 \times 10^6$ masses solaires. La valeur obtenue par les astronomes de l'ESO est de $3,7 \pm 1,5$ millions de masses solaires.

Un trou noir ou beaucoup d'étoiles ?

La valeur obtenue pour le système trou noir/étoile S2 est bien plus grande que la valeur typique de la masse d'une étoile. L'essentiel de la masse déterminée provient donc du trou noir.

Réponse 8 – avec la masse déterminée précédemment, il faut donc environ $N = 2,7$ millions d'étoiles pour obtenir une masse équivalente à celle du trou noir.

Réponse 9 – la formule du glossaire permet de calculer la magnitude apparente qu'aurait une étoile semblable à notre Soleil placée au centre de la Voie lactée

$$m - M = 5 \log_{10} \frac{D}{10 \text{ pc}} = 5 \log_{10} D_{\text{pc}} - 5$$

où l'on a $M = 4,83$, $D = 8000$ parsecs. On obtient $m = +19,4$, correspondant à une étoile extrêmement peu brillante. S'il l'on place N étoiles semblables au Soleil au centre de la Voie lactée, la magnitude apparente de l'ensemble varie de la quantité $-2,5 \log N$, soit $-16,1$ pour donner un ensemble dont la magnitude apparente serait de $+3,3$.

Réponse 10 – la magnitude apparente obtenue à la question précédente correspond à un astre visible à l'œil nu, ce que les astronomes n'ont pas détecté en provenance du centre de la Voie lactée. La masse autour de laquelle orbite l'étoile S2 ne peut donc pas être celle d'un grand nombre d'étoiles, mais plutôt celle d'un trou noir.

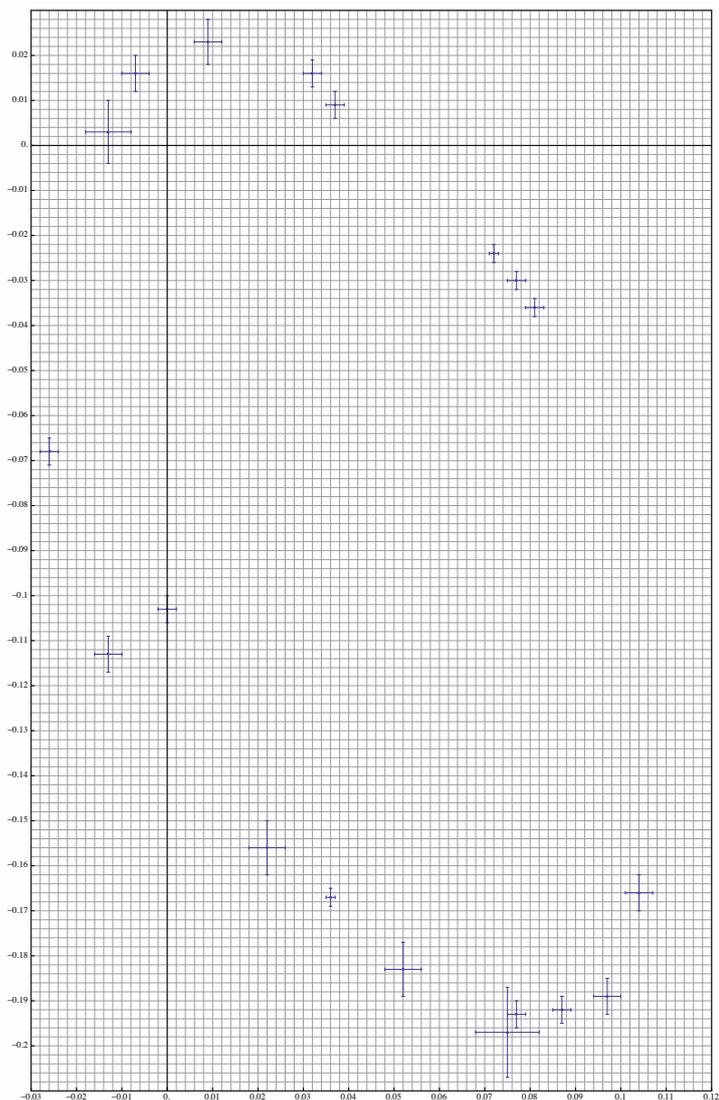


FIG. 1.

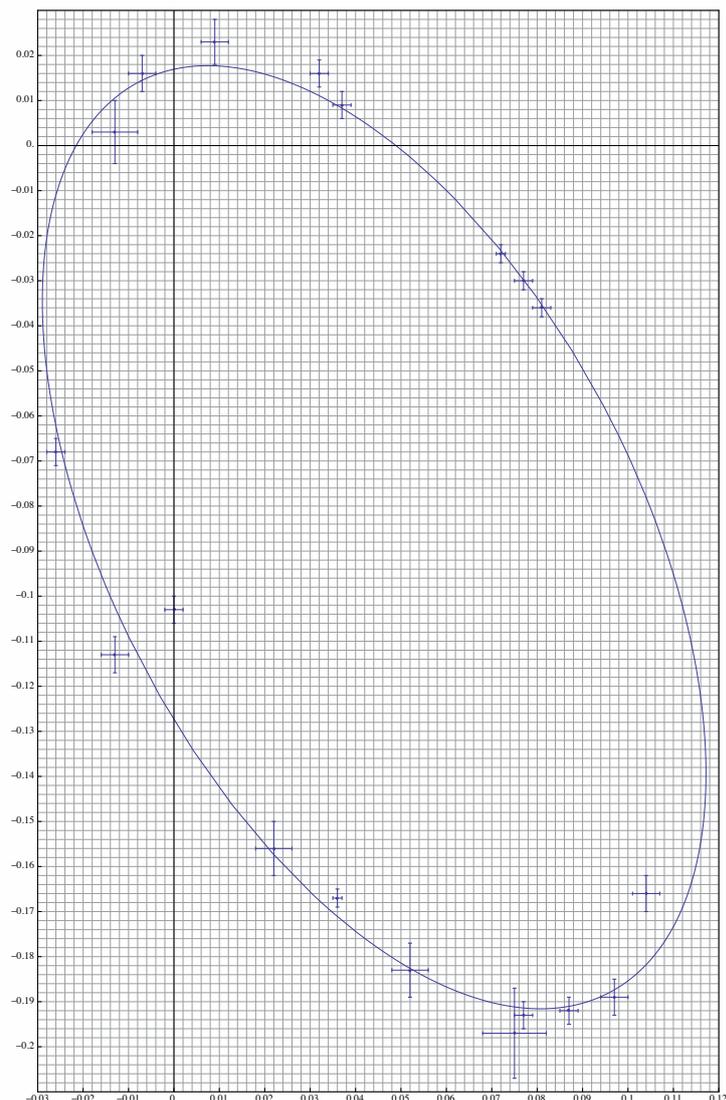


FIG. 2.

Astro Exos

Responsables éditoriaux

Roland Lehoucq et Jean-Marc Bonnet-Bidaud

Idée originale

Gijs Verdoes Kleijn, Anne Værnholt Olesen – ESA/ESO, en remerciant Rainer Schödel pour avoir fourni les données du tableau 1.

Conception graphique

Aurélie Bordenave, aureliebordenave.fr

Traduction et adaptation

François Saint-Jalm (professeur de physico-chimie à l'Éducation nationale) & Roland Lehoucq (astrophysicien au CEA).

Photo de couverture :

Image de la région centrale de la Voie lactée prise dans le proche infrarouge avec l'instrument NACO du Very Large Telescope.





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 scientifiques.

Cet exercice traite de la détermination de la masse du trou noir situé au centre de notre galaxie, la Voie lactée. Il utilise la géométrie de l'ellipse, les lois de Kepler, permet de discuter de la notion de vitesse de libération et de la luminosité des étoiles.

