

Aurélien **BARRAU**

**AU CŒUR
DES
Trous NOIRS**

DUNOD

Du même auteur chez le même éditeur :

Big bang et au-delà
Des univers multiples
Forme et origine de l'Univers
De la vérité dans les sciences

Soutenu par le laboratoire d'Excellence ENIGMASS

Les illustrations (intérieur et couverture) ont été réalisées par Lison Bernet,
à l'exception des images p. 35 © Alain Riazuelo ; p. 51 © Ute Kraus ;
p. 117 © Avery Broderick.
Composition : Soft Office

© Dunod, 2017
11 rue Paul Bert, 92240 Malakoff
www.dunod.com
ISBN 978-2-10-074849-5

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

PRÉAMBULE

*« Tout au bord de ce trou noir et profond
comme un œil, ils se penchèrent
et l'on ne sait quel vertige les prit. »*

Jean Genet, *Miracle de la Rose*

Énigmatiques et symboliques, les trous noirs condensent beaucoup de nos fantasmes et de nos angoisses. Scientifiquement, certains aspects de ces objets sont bien compris, mais d'autres restent tout à fait mystérieux. À eux seuls, ils convoquent une grande partie de nos savoirs et les poussent à leur paroxysme. Dans un trou noir, l'espace se change en temps, le temps se transforme en espace et nul ne connaît la véritable nature de la singularité centrale. Quand la physique quantique s'invite dans la partie, l'image devient à la fois inextricablement complexe et presque dangereusement belle.

Ce petit ouvrage entend montrer au néophyte ne disposant d'aucune connaissance préalable en physique ou en astronomie quelques aspects de la fascinante

étrangeté des trous noirs. Sans viser à une exhaustivité systématique, j'ai tenté de passer en revue l'ensemble des propriétés qui me semblent essentielles, en me fondant autant que possible sur l'actualité scientifique.

Évitant systématiquement le recours aux mathématiques et aux démonstrations subtiles, ce dialogue tente de rendre accessibles les grandes énigmes des trous noirs sans sacrifier, autant que faire se peut, à la rigueur et à l'exactitude. J'y présente autant les résultats acquis et bien maîtrisés que les errances auxquelles notre physique est encore confrontée. Il s'agit donc non seulement d'un point d'accès à la relativité générale, en termes aussi simples que possible, mais aussi d'une tentative d'ouverture introductive à la science spéculative encore en devenir.

Et que le lecteur ne s'étonne pas des prénoms inhabituels des protagonistes, leur sens se dévoilera au cours de la progression dans le texte!

1

QU'EST-CE QU'UN TROU NOIR?



Dans la bibliothèque où ils discutent souvent le soir tombé, Héliogabale et Hécate abordent aujourd'hui la question des trous noirs. Inconfortablement installés – parce que trop de confort nuit toujours à la santé des idées – ils s'interrogent : les trous noirs existent-ils vraiment ? Sont-ils réels ?

HÉLIOGABALE : Tu devrais peut-être aller te coucher. La nuit est déjà très noire. Ne néglige pas le temps des songes.

HÉCATE : Non. Demain est un autre monde. Je veux savoir maintenant. Demain, c'est toujours trop tard, tu sais bien qu'on pense toujours mieux dans le hors-temps de la nuit.

HÉLIOGABALE : Oui, c'est vrai... J'aime quand tu touches le réel, comme ça, avec la simplicité de l'absoluité.

HÉCATE : Ne sois pas si sentencieux ! Parle-moi plutôt du ciel. Parle-moi des étoiles, des météorites, des planètes et des comètes. Parle-moi des trous noirs.

HÉLIOGABALE : Mais ça n'a rien à voir. Il y a peu de liens entre tout ce que tu évoques. Tu sais, le Cosmos est vaste et diversifié. Foisonnant et diapré. Des quasars aux pulsars, des étoiles à neutrons aux naines blanches, des astéroïdes aux gaz interstellaires, des ondes de choc aux halos magnétiques, l'Univers, pourrait-on dire, est nombreux.

HÉCATE : Tout cela est vraiment réel ?

HÉLIOGABALE : Cite-moi une chose « vraiment réelle ».

HÉCATE : Ma naissance.

HÉLIOGABALE : Oui, tu existes, c'est indéniable. Intensément. Mais n'oublie pas que les particules qui

composent ton corps, les quarks et les gluons, ont l'âge de l'Univers. En un sens, ton corps a plus de 13 milliards d'années. Tu es – aussi – née avec le Big Bang. Tu pourrais même aller au-delà de cette réflexion sur toi-même et te demander si un champ magnétique existe ou s'il est une projection humaine sur le réel. Une équation physique est-elle le réel en lui-même ou une simple manière, parmi d'autres, de l'appréhender ? Je crains que toute réponse à l'emporte-pièce sur ces questions soit insensée. Il y a en effet ici matière à de nombreuses discussions et autant de nuits blanches !

HÉCATE : D'accord, exister ou naître sont sans doute des concepts complexes. Mais, au sens où la Terre existe, au sens où cette mouche existe – regarde comme le mouvement de ses pattes est délicat et absolument imprévisible –, est-ce que tu dirais que les trous noirs existent ?

HÉLIOGABALE : Oui, en ce sens, je crois qu'ils existent. Je n'en doute guère. Leur présence dans notre univers me semble aussi avérée que celle de nombreux autres objets célestes qui sont évoqués sans précaution particulière.

HÉCATE : Mais les voit-on vraiment ?

HÉLIOGABALE : Est-ce que tu vois les quarks ? Est-ce que tu vois les champs électriques ? Est-ce que tu vois la gravitation ? Et encore, j'en reste aux exemples physiques. Je ne te demande pas si tu vois l'amour ou

les terribles accords de Wagner ! Tu as donc raison, dans une certaine mesure : on ne « voit » pas les trous noirs, mais il y a beaucoup d'entités physiques que les scientifiques connaissent et comprennent sans les voir. Dans notre quotidien, la vue est essentielle : elle structure ce que nous appréhendons de notre environnement. Mais elle est loin d'être le seul accès au monde physique. Elle est même souvent déficiente et peu précise. Les trous noirs nous signalent leur présence par d'autres voies, non moins convaincantes...

HÉCATE : Tu m'expliqueras... Mais comment Einstein a-t-il pu inventer tout cela ?

HÉLIOGABALE : Ah, mais ce n'est pas Einstein ! La possibilité que des trous noirs existent a été envisagée dès le XVIII^e siècle par John Michell, un astronome amateur britannique, et Pierre-Simon de Laplace, un physicien et mathématicien français. C'est une vieille idée, en fait.

HÉCATE : Mais je croyais qu'il fallait recourir à la relativité et à d'autres outils mathématiques très élaborés pour les aborder. Comment a-t-on pu les inventer si tôt ?

HÉLIOGABALE : Les inventer ou les découvrir ? C'est une autre vaste question ! Mais j'aime assez que, par défaut, tu choisisses « inventer ». C'est vrai, la relativité est indispensable pour les sonder en profondeur. Néanmoins, on peut comprendre leur existence et une

partie de leur nature avec des arguments beaucoup plus simples. Si tu lances une pierre vers le ciel, que lui arrive-t-il ?

HÉCATE : Elle s'élève de quelques mètres et retombe.

HÉLIOGABALE : Soit. Et, à ton avis, qu'arriverait-il si elle était lancée avec une vitesse très supérieure à celle que ton bras peut effectivement développer ?

HÉCATE : Je suppose qu'elle irait beaucoup plus haut. Peut-être même ne retomberait-elle pas.

HÉLIOGABALE : Exactement. Si tu la lances suffisamment vite, elle s'échappera dans l'espace et ne reviendra jamais sur Terre. On nomme la vitesse minimale permettant cette échappée la « vitesse de libération ». Pour une planète comme la Terre, elle est d'environ 11 kilomètres par seconde. C'est la vitesse au-delà de laquelle un objet peut définitivement s'affranchir de la gravitation terrestre et errer pour toujours dans l'espace. Imagine maintenant que la Terre soit « comprimée » dans un volume plus petit. Qu'une main de géant la compresse fortement. Que va-t-il se passer ? Comment l'intensité de la gravitation à la surface va-t-elle varier ?

HÉCATE : Puisque la masse est la même mais que la planète que tu évoques est plus petite, on sera clairement plus proche du centre. Donc, nécessairement, on sentira une gravitation plus forte. On sera plus lourd sans même avoir grossi !

HÉLIOGABALE : C'est cela. Et la vitesse de libération ?

HÉCATE : Si la gravitation est plus forte, il est évidemment plus difficile d'y échapper. Donc, la vitesse de libération, celle qu'il faut pour ne pas retomber, sera plus élevée. Il faudra jeter la pierre plus vite pour qu'elle parvienne à s'échapper. Si par exemple 11 kilomètres par seconde suffisaient pour la Terre, c'est peut-être une vitesse de 20 ou 30 kilomètres par seconde qui sera maintenant nécessaire pour s'extraire du champ gravitationnel.

HÉLIOGABALE : Parfait, tu comprends. Si on comprime donc la Terre dans une sphère très petite et extrêmement dense, la vitesse de libération va devenir immense. Que se passera-t-il si elle devient plus grande que la vitesse de la lumière ?

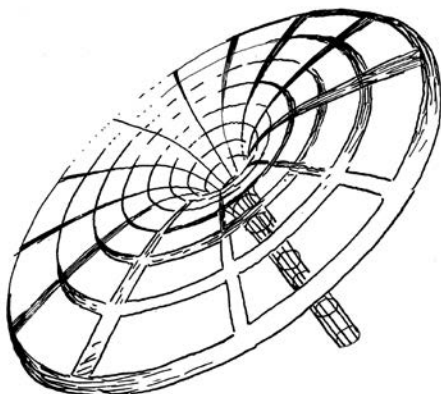
HÉCATE : Eh bien même la lumière ne pourra s'en aller ! Elle n'ira pas assez « vite » pour échapper à la gravitation devenue gigantesque.

HÉLIOGABALE : Tu viens de découvrir les trous noirs, chère Hécate ! Tout est là ! Si un astre est suffisamment petit pour une masse donnée ou suffisamment massif pour une taille donnée, le champ de gravité à sa surface peut être si fort que les photons, c'est-à-dire les grains de lumière, ne sont même plus capables de s'extraire de l'objet. C'est exactement la définition classique d'un trou noir. Tu vois, nous n'avons pas besoin de relativité générale et d'équations complexes pour comprendre.

HÉCATE : Cette surface que tu évoques, en quoi est-elle faite dans le cas d'un trou noir ? De quelle matière est-elle constituée ? Pour la Terre, la surface est simplement la frontière entre la matière qui compose notre planète et le vide (ou presque) environnant. En se dirigeant vers la Terre, un vaisseau spatial s'écraserait sur sa surface composée, entre autres, de roches ou d'eau. C'est la même chose pour un trou noir ?

HÉLIOGABALE : Non, pour un trou noir, la surface est purement mathématique. Elle n'a aucune matérialité. Tu ne sentirais absolument rien en la traversant. Elle est simplement définie par le fait qu'un retour en arrière n'est plus possible au-delà de celle-ci. Mais on ne se « cognerait » pas dessus. C'est exactement comme si tu étais un poisson dans un torrent qui précède une chute d'eau. Naturellement, la vitesse de l'eau augmente au fur et à mesure que tu t'approches de la chute. Et vient un moment où même le poisson nageant le plus vite possible dans le sens opposé se trouve irrémédiablement entraîné vers l'aval. Ce point de « non-retour » est l'équivalent de l'horizon ou de la surface du trou noir. Et tu vois bien que le poisson ne ressent rien de particulier quand il le passe. Il en va de même en traversant la sphère qui délimite la frontière du trou noir.

HÉCATE : Mais j'ai vu à de nombreuses reprises des schémas étranges présentant les trous noirs comme des sortes d'entonnoirs. Ce que nous décrivons ici ressemble plutôt à une sphère...



HÉLIOGABALE: Mais oui, il s'agit bien d'une sphère. Si un trou noir se trouvait devant nous, il ressemblerait précisément à une sphère. Les dessins que tu évoques sont des représentations élaborées de ce que les physiciens appellent la géométrie extérieure. Ils rendent compte d'une manière de mesurer une distance en fonction d'une autre, n'entrons pas pour le moment dans ces détails. Mais les trous noirs sont bien des boules.

HÉCATE: Et si on faisait le calcul avec la valeur de la masse de la Terre et avec celle de la vitesse de la lumière, toutes deux bien connues depuis longtemps, on trouverait qu'il faut comprimer la Terre dans une sphère de quel rayon pour qu'elle devienne un trou noir?

HÉLIOGABALE: Le rayon ne serait que de quelques millimètres. C'est en effet très petit...