

incertains et nul ne peut dire avec certitude si le Nouvel Empire a commencé en l'an 1540 ou cinq ans plus tôt !

Avec la XII^e dynastie, à laquelle appartenait Sésotris III, nous foulons à nouveau un sol ferme ; cette dynastie a duré 182 ans. En fonction de la durée de la Deuxième Période intermédiaire, elle a donc dû commencer entre 2000 et 1975.

Le Moyen Empire fut précédé par une période où l'Égypte comptait de petits États : la Première Période intermédiaire. Au sein de cette époque, les 185 années citées par le prêtre Manéthon pour les règnes des rois d'Hérakleopolis (le plus important royaume de cette phase intermédiaire) jusqu'à la réunification, à la fin de la XI^e dynastie (entre 2040 et 2020), semblent pouvoir correspondre à la vérité. Les dates relatives aux fonctionnaires régionaux ainsi que les découvertes archéologiques dans les nécropoles de la Première Période intermédiaire correspondent à une durée d'environ 200 ans.

L'Ancien Empire s'est terminé vers l'an 2230, ce qui nous amène à l'ère des constructeurs de pyramide connus. Le

plus gros problème chronologique pour cette période est le système de dates alors utilisé. En effet, à partir de la XI^e dynastie, les Égyptiens ont daté les événements en fonction du début du règne des souverains ; auparavant, on mentionnait les « années de recensement des troupeaux », c'est-à-dire les années de levée d'impôts. Les spécialistes ont longtemps pensé que ces levées étaient séparées de deux ans, car à côté de la mention « année du recensement », on trouve aussi de temps en temps une mention « année après le recensement ». Entre-temps, il est devenu clair que soit les Égyptiens n'avaient pas de méthode régulière de prélèvement des impôts, soit nous ne l'avons pas encore comprise.

A posteriori, les listes de rois des époques tardives n'aident pas, car leurs auteurs, manifestement, ont aussi confondu ces données avec des années de règne. Les constructeurs des grandes pyramides de la IV^e dynastie, les rois Snéfrou, Khéops et Chéphren, ont sans doute régné bien plus longtemps que ne le rapportent les chroniqueurs égyptiens, à

en croire les estimations récentes des durées de construction.

Le calcul à rebours fondé sur les dates de recensement des troupeaux depuis la Première Période intermédiaire jusqu'à l'Ancien Empire et sur toute une série d'autres indices comporte donc de très grandes incertitudes. Il conduit à placer la construction de la pyramide de Khéops au XXVI^e siècle.

L'histoire complétée par la physique

C'est là qu'intervient la physique : une équipe internationale vient en effet de faire savoir que les dates obtenues par la méthode du radiocarbone coïncident bien avec le résultat de la reconstruction de la chronologie par la méthode historique (voir *L'Égypte ancienne à l'aune du radiocarbone*, page 20). Ces datations physiques fixent surtout les plus anciennes périodes de l'histoire égyptienne, pour lesquelles la méthode astronomique est controversée ; elles complètent ainsi idéalement la chronologie historique. ■



Muséum national d'Histoire naturelle

L'extinction d'espèce Histoire d'un concept & enjeux éthiques

Julien Delord

« Durant les neuf derniers millénaires, l'humanité s'est conduite en tant qu'espèce pionnière invasive. Cette espèce est individualiste, agressive et envahissante. Elle tente d'exterminer ou de supprimer d'autres espèces ». Et en toute inconscience, pourrait-on ajouter au constat implacable du philosophe Arne Naess ! Comment cet événement écologique massif, cette destruction inconsidérée de nos espèces-sœurs a pu rester si longtemps invisible et demeurer si obstinément impensée ? À moins que les tentatives de reconnaissance et de formalisation de ce phénomène ne se soient heurtées à des résistances d'ordre théologique, scientifique et culturelle profondément ancrées... Mais alors, comment s'assurer que cette « sixième extinction de masse », en tant que conséquence (éco-) logique du développement de l'espèce humaine, peut légitimement faire l'objet d'une condamnation morale ? Sur quelles bases éthiques fonder la conservation des espèces et proposer une norme de vie commune au sein de l'odyssée de l'évolution ? C'est en réponse à ces questionnements essentiels où s'entrecroisent les perspectives millénaires de l'histoire environnementale des civilisations humaines et l'urgence de la crise de la biodiversité contemporaine que ce livre suggère nombre d'éclaircissements historiques et philosophiques à même de nourrir une indispensable réflexion écologique.



ISBN 978-2-85653-656-8
170 x 240 mm • 140 figures quadri
692 p. • 45 € TTC • novembre 2010

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES DU MUSÉUM

Commandes et renseignements :
Muséum national d'Histoire naturelle
Publications Scientifiques

Case postale 41 • 57 rue Cuvier • 75231 Paris cedex 05
Tél. : 01 40 79 48 05 • Fax : 01 40 79 38 40
diff.pub@mnhn.fr • <http://www.mnhn.fr/pubsci>

Histoire des sciences

Astrophysique

À la recherche des **TROUS NOIRS** de masse

Jenny Greene

Pesant moins d'un million de masses solaires, les trous noirs de masse intermédiaire pourraient être la clef de l'énigme de la formation de leurs homologues supermassifs et des galaxies qui les abritent.

intermédiaire

L'ESSENTIEL

✓ Moins d'un milliard d'années après le Big Bang, il existait déjà des trous noirs supermassifs d'un milliard de masses solaires. Or l'accrétion de matière ne suffit pas à expliquer une croissance aussi rapide.

✓ Ces monstres sont-ils issus de l'effondrement d'étoiles en de nombreux petits trous noirs, qui ont ensuite grossi et fusionné ? Ou bien ont-ils évolué à partir de germes déjà massifs, résultant de l'effondrement de grands nuages de gaz primordiaux ?

✓ La réponse viendra de la détection et de l'étude des trous noirs de masse intermédiaire. Les premiers résultats favorisent le scénario de l'effondrement de nuages de gaz.

Les astronomes savent depuis une dizaine d'années que presque toutes les grosses galaxies recèlent en leur centre un gigantesque trou noir – astre dont le champ de gravité est si intense que la lumière ne peut s'en échapper. En mourant, les étoiles peuvent s'effondrer en petits trous noirs, dont la masse va de trois à quelques dizaines de fois celle du Soleil. Ces trous noirs de masse stellaire sont cependant minuscules comparés aux monstres présents au cœur des galaxies, qui atteignent des millions, voire des milliards, de masses solaires.

Ces trous noirs supermassifs posent nombre de questions : pourquoi sont-ils si fréquents dans les galaxies ? Qui apparaît en premier, le trou noir central ou sa galaxie hôte ? Comment se sont-ils formés et ont-ils grandi ?

Le mystère est d'autant plus grand que des trous noirs supermassifs existaient déjà alors que l'Univers était encore très jeune. En juin 2011, un trou noir de deux milliards de masses solaires environ a été observé à une distance correspondant à 770 millions d'années après le Big Bang. Comment a-t-il pu devenir si massif en si peu de temps ?

Une croissance aussi rapide est étonnante, car les trous noirs, surtout connus dans l'imaginaire collectif pour aspirer le gaz et les étoiles qui passent à leur portée, sont aussi très efficaces pour « souffler » la matière environnante. Le gaz qui tombe sur un trou noir se met à tourner au sein d'un énorme disque, le disque d'accrétion. Échauffé par les frottements, en particulier à l'approche du point de non-retour sur le bord interne du disque, le gaz rayonne de façon intense, notamment en rayons X. Ce rayonnement repousse le reste de la matière en chute sur le trou noir, ce qui limite le rythme de croissance de l'astre par accrétion.

Les calculs indiquent qu'un trou noir qui accumule de la matière en continu au rythme le plus rapide possible double de masse tous les 50 millions d'années. C'est impressionnant, mais trop lent pour qu'un trou noir de masse stellaire devienne un monstre d'un milliard de masses solaires en moins d'un milliard d'années !

Les astrophysiciens ont proposé deux scénarios généraux de formation des trous noirs supermassifs. Le premier, avancé il y a déjà de nombreuses années, suppose que leurs germes étaient de gros trous noirs, vestiges d'étoiles défunes. Les premières

L'AUTEUR



Jenny GREENE est maître de conférences en astronomie à l'Université de Princeton, aux États-Unis.

✓ BIBLIOGRAPHIE

J. Greene, Big black hole found in tiny galaxy, *Nature*, vol. 470, pp. 45-46, 2011.

J. Kormendy et al., Supermassive black holes do not correlate with galaxy disks or pseudobulges, *Nature*, vol. 469, pp. 374-376, 2011.

M. Volonteri, Formation of supermassive black holes, *Astronomy and Astrophysics Review*, vol. 18(3), pp. 279-315, 2010.

J. Laval, Les trous noirs de masse intermédiaire, *Pour la Science* n° 372, octobre 2008, http://bit.ly/372_lavalle.

J. Greene et L. Ho, Active galactic nuclei with candidate intermediate-mass black holes, *Astrophysical Journal*, vol. 610(2), pp. 722-736, 2004.

A. Filippenko et L. Ho, A low-mass central black hole in the bulgeless Seyfert 1 galaxy NGC 4395, *Astrophysical Journal*, vol. 588(1), pp. L13-L16, 2003.

étoiles qui se sont formées dans l'Univers étaient sans doute extrêmement massives comparées au Soleil et aux autres étoiles des générations suivantes. Le gaz primordial ne contenait en effet pas encore assez d'éléments lourds, qui facilitent le refroidissement et la formation de grumeaux plus petits lorsque les nuages de gaz se contractent. Les très grosses étoiles qui en auraient résulté se seraient consumées rapidement et auraient engendré des trous noirs d'une centaine de masses solaires. Mais comment faire grossir ces germes plus vite que par simple accréation ?

Dans un amas stellaire dense, où les étoiles les plus grosses (et les trous noirs) ont tendance à se regrouper près du centre, un trou noir central massif pourrait rapidement croître jusqu'à 10 000 masses solaires en avalant d'autres trous noirs, dépassant ainsi le rythme d'accréation limite habituel. La croissance jusqu'au stade de trou noir supermassif pourrait se poursuivre par une accréation plus ordinaire, peut-être avec d'autres trous noirs de belle taille au menu.

Cependant, la découverte des trous noirs supermassifs très précoces pose la question de savoir si cette phase initiale de croissance accélérée est suffisante. Les astrophysiciens ont ainsi cherché des mécanismes alternatifs engendrant des germes de trous noirs plus gros que ceux formés à la mort des étoiles primitives.

La distribution de masse des trous noirs indique leur origine

Pour ce faire, une possibilité est de sauter les étapes intermédiaires, à savoir les étoiles : un gros nuage de gaz s'effondrerait pour former directement un trou noir de 10 000 à 100 000 masses solaires, bien plus gros que celui issu d'une étoile. Ce processus offre, en théorie, davantage de latitude pour former des trous noirs supermassifs précoces. Ce type d'effondrement direct ne se produit plus dans l'Univers aujourd'hui, car la teneur en éléments lourds du gaz a beaucoup augmenté, mais les conditions étaient différentes dans sa jeunesse.

Malheureusement, il est difficile de déterminer lequel de ces deux scénarios correspond à la réalité, c'est-à-dire de savoir si les germes des trous noirs supermassifs étaient de taille stellaire, ou s'ils étaient issus de l'effondrement de gros nuages

interstellaires. Malgré les progrès des télescopes, on ne peut observer des « bébés trous noirs supermassifs » en train de commencer leur croissance dans les premiers âges de l'Univers. C'est pourquoi mes collègues et moi avons adopté une autre stratégie : chercher des germes qui, pour une raison ou une autre, auraient survécu jusqu'à nos jours sans devenir supermassifs.

Si les germes de trous noirs supermassifs étaient des résidus d'étoiles, nous devrions détecter de nombreux rescapés, à la fois au centre et à la périphérie des galaxies, car les étoiles primordiales défunctes devaient être réparties partout dans la Galaxie. Nous devrions aussi observer un éventail continu de masses allant de 100 à 100 000 masses solaires, car la croissance de ces germes serait susceptible d'avoir été interrompue, par manque de matériau à agréger, à n'importe quel stade de la croissance.

En revanche, si les amorces de trous noirs supermassifs se sont formées surtout par effondrement direct de nuages de gaz, alors il devrait y avoir assez peu de survivants : le processus d'effondrement direct doit être plus rare que les implosions d'étoiles. Au lieu d'un large éventail de masses, nous ne devrions trouver que des restes dépassant 100 000 masses solaires, la masse typique donnée par les modèles théoriques d'effondrement direct.

Avec d'autres chercheurs, j'ai donc entrepris de scruter le ciel à la recherche d'un nouveau type de trous noirs, qui ne seraient ni de masse stellaire ni supermassifs, mais entre les deux : les trous noirs de masse intermédiaire. Il s'agissait de voir si leur fréquence et leur distribution de masse s'accordent mieux avec le modèle de l'effondrement stellaire ou avec celui de l'effondrement gazeux. Quand nous nous sommes lancés dans cette entreprise il y a sept ans, elle ne semblait guère prometteuse. Un seul trou noir intermédiaire était connu, et il était considéré comme une anomalie. Mais depuis, nous en avons trouvé des centaines.

Dans la suite, j'inclurai dans la catégorie des trous noirs intermédiaires ceux dont la masse va de un millier à deux millions de masses solaires. Cette limite supérieure est un peu arbitraire, mais elle exclut les plus petits des trous noirs supermassifs connus, tel celui de notre Galaxie, qui dépasse à peine quatre millions de masses solaires. Dans tous les cas, la frontière est par nature floue. En pratique, la mesure