

équations couplées qui décrivent le mouvement de nombreux objets soumis à leur attraction gravitationnelle mutuelle. Cette approche a élucidé ce qui se passe dans les amas ouverts après la contraction initiale génératrice d'étoiles et nous a apporté un éclairage inattendu sur les forces régissant l'expansion des amas.

Bien que les amas ouverts soient stables, ils ne sont pas statiques. L'attraction mutuelle de leurs étoiles crée un brassage lent et constant, les étoiles parcourant des orbites qui s'entrecroisent. Des simulations à N corps décrivent ce ballet induit par la gravité. Il y a plusieurs années, avec Joseph Converse, maintenant à l'Université de Tolède, nous avons emprunté cette voie numérique pour élucider l'histoire de l'amas ouvert des Pléiades. Il s'agissait de deviner une configuration initiale de l'amas, puis de la laisser évoluer pendant 125 millions d'années. Nous avons comparé l'amas simulé obtenu avec son homologue réel, et nous avons ajusté les conditions initiales jusqu'à ce que la simulation à N corps produise un amas qui ressemble à la réalité.

Nous avons été surpris. Il semble que tout en restant lié par la gravitation, l'amas des Pléiades n'a cessé de se dilater régulièrement depuis que son nuage s'est dispersé. Les étoiles s'éloignent lentement les unes des autres. Ce résultat est en contradiction avec les analyses antérieures, qui suggéraient que les étoiles des amas ouverts se répartiraient peu à peu en un cœur d'étoiles massives et une enveloppe externe d'étoiles plus légères. Ce schéma de ségrégation, nommé relaxation dynamique, décrit habituellement l'évolution temporelle des amas liés par la gravitation. C'est ainsi, par exemple, que se comportent les amas globulaires. Mais même quand nous laissons tourner notre simulation 900 millions d'années dans le futur, l'expansion se poursuit de façon uniforme.

Ce résultat indique que l'analyse classique aurait omis un facteur critique dans l'équilibre des forces qui déterminent l'évolution des amas. À quoi est due cette expansion uniforme des amas ouverts ? Les étoiles binaires semblent être la clef du processus. Ces paires de compagnons proches en orbite l'un autour de l'autre sont très fréquentes dans les groupes d'étoiles. Au milieu des années 1970, Douglas Heggie, maintenant à l'Université d'Édimbourg, en Écosse, a étudié l'impact d'une troisième

étoile s'approchant d'un système binaire. Les simulations numériques montrent que les trois astres entament un ballet compliqué au terme duquel le plus léger des trois est éjecté à grande vitesse. L'étoile qui s'échappe rencontre bientôt d'autres membres de l'amas et leur communique une partie de son énergie, ce qui augmente la vitesse orbitale des étoiles. Dans nos simulations à N corps, c'est l'énergie de ces rencontres successives qui entraîne l'expansion de l'amas ouvert, un phénomène cependant si lent qu'il passe inaperçu aux yeux des astronomes.

Des mystères qui persistent

Ainsi, les différents travaux semblent confirmer l'hypothèse que la masse initiale du nuage moléculaire détermine la structure de l'amas et son évolution. Mais certains aspects de la théorie restent à vérifier. Par exemple, une observation montrant l'expansion uniforme des amas ouverts serait cruciale.

Les résultats mettent aussi en lumière les nombreuses lacunes dans nos connaissances sur les amas d'étoiles. Nous n'avons pas encore les outils pour modéliser la façon dont certaines régions des nuages précurseurs deviennent assez denses pour former des étoiles. Et plusieurs décennies d'observations dans les domaines radio et infrarouge n'ont pas permis de révéler les mouvements au sein de ces nuages. La phase de naissance des groupes stellaires (qui se déroule au sein de l'épaisse poussière des amas enfouis) reste enveloppée de mystère. En outre, il faut encore évaluer le rôle exact des vents stellaires.

Néanmoins, le modèle d'équilibre des forces que mes collègues et moi avons développé peut aider à obtenir davantage d'informations sur la phase primordiale des amas et la dynamique du nuage de gaz.

L'impact de ces recherches pourrait s'étendre bien au-delà des amas eux-mêmes. Certains astronomes pensent par exemple que le Soleil s'est formé au sein d'une association OB très peuplée et que la présence proche d'étoiles voisines a perturbé le disque environnant de gaz et de poussière, ce qui a façonné le Système solaire. Les nuages moléculaires qui engendrent des amas pourraient même influencer sur l'évolution globale du milieu interstellaire et des galaxies. ■

■ BIBLIOGRAPHIE

S. W. Stahler, *The birth and death of star clusters in the Milky Way*, *Physics Today*, vol. 65, n° 10, pp. 46-52, 2012.

J. M. Converse et S. W. Stahler, *The dynamical evolution of the Pleiades*, *MNRAS*, vol. 405, pp. 666-680, 2010.

S. W. Stahler et F. Palla, *The Formation of Stars*, Wiley-VCH, 2004.

C. R. O'Dell, *The Orion Nebula : Where Stars Are Born*, Belknap Press/Harvard University Press, 2003.

C. J. Lada et E. A. Lada, *Embedded clusters in molecular clouds*, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, vol. 41, pp. 57-115, 2003.

Les **g**rands albatros vautours des mers

D. Grémillet, A. Prudor, Y. Le Maho et H. Weimerskirch

Le plus grand oiseau de la planète passait pour un pêcheur. C'est en réalité un charognard des mers, ont découvert les biologistes.



L'ESSENTIEL

■ **Le grand albatros** est un oiseau de l'océan Antarctique, où il niche sur les rares îles et se nourrit en mer.

■ On savait qu'il trouvait sa nourriture au cours de voyages solitaires en mer, mais on ignorait comment exactement.

■ Une étude récente montre qu'il digère ses proies grâce aux mêmes adaptations physiologiques que les vautours.

■ Son intérêt pour les déchets de pêche explique sa propension à suivre les bateaux, ce qui le met aujourd'hui en danger.

© Frans Lanting/Corbis

1. CE GRAND ALBATROS est venu se reproduire sur une île de l'océan Antarctique, où il parade devant une femelle en faisant étalage de sa grande taille.

Les grands albatros, nommés aussi albatros hurleurs (*Diomedea exulans*), sont en effet « vastes » comme l'écrit Charles Baudelaire. Leur envergure peut dépasser trois mètres ! Cette imposante voilure fait d'eux les plus grands oiseaux vivants. Elle leur permet de transporter 7 à 12 kilogrammes de plume, de chair et d'os au-dessus des flots de l'océan Austral, là où aucune terre ne vient ralentir les bourrasques des 40° rugissants et des 50° hurlants. Dans ces vents toujours violents, qui dépassent souvent les 100 kilomètres par heure, les albatros pratiquent le vol plané dynamique, qui tire profit des courants ascendants créés par le dos des vagues. Sans un battement d'ailes, leur métabolisme quasiment au repos, isolés du froid, de la pluie et de la neige par un épais plumage blanc agrémenté chez les jeunes de gris, les grands albatros parcourent ainsi des dizaines de milliers de kilomètres. Au bout d'un an, ils ont parfois accompli l'équivalent de plusieurs tours de la Terre !

D'une longévité proche de la nôtre, ces oiseaux ne se reproduisent qu'après dix ans, couvent deux mois et demi et n'élèvent qu'un poussin tous les trois ans, qui restera au nid plus d'une année avant de prendre son envol. Les grands albatros ne semblent vieillir qu'à partir de la quarantaine et peuvent vivre plus de 80 ans. Cela implique que pour observer un individu toute sa vie, de l'éclosion de son œuf jusqu'à sa mort en mer, plusieurs... carrières de chercheurs sont nécessaires !

Aussi n'est-il pas étonnant que la vie en mer des albatros soit longtemps restée mystérieuse, à commencer par leur façon de se nourrir. Toutefois, la science avance. En équipant d'instruments certains des grands albatros qui nichent sur l'île de la Possession dans l'archipel de Crozet, dans le Sud de l'océan Indien, nous venons de confirmer qu'ils ont les mêmes habitudes alimentaires et les mêmes adaptations physiologiques que les vautours.

Avant d'expliquer comment nous avons reconnu la nature charognarde des grands albatros, il nous faut attirer l'attention sur un point commun à tous les prédateurs mobiles. Ce type de prédateurs comprend par exemple le grand requin blanc, les rapaces, le guépard, etc. Leur performance

prédatrice est principalement déterminée par la disponibilité des proies dans l'espace et dans le temps. Sous la pression de la sélection naturelle, les prédateurs mobiles ont développé une variété étonnante de stratégies afin de se nourrir : poursuite, tromperie, nécrophagie, etc.

Lorsque les ressources sont abondantes, ou que la proie est de très grande taille par rapport au prédateur, ce n'est plus le talent de chasseur de ce dernier qui limite l'acquisition de matière et d'énergie, mais le volume de l'estomac et sa capacité à digérer les aliments. On parle alors de goulot d'étranglement digestif ; c'est ainsi que le lion repu abandonne la carcasse du gnou aux hyènes et chacals. Plus l'estomac est grand, plus le prédateur peut stocker vite des volumes importants de nourriture afin d'échapper à ses compétiteurs.

Cette stratégie dite du boa est toutefois limitée par la taille de l'espèce : la baleine bleue peut aisément supporter un estomac de 1 000 litres, bien plus grand que celui d'une musaraigne... Une fois ingérée, la nourriture doit être digérée, assimilée et les résidus rejetés dans la nature afin de céder

*Souvent, pour s'amuser, les hommes d'équipage
Prennent des albatros, vastes oiseaux des mers,
Qui suivent, indolents compagnons de voyage,
Le navire glissant sur les gouffres amers.*

Charles Baudelaire,
L'albatros (*Les fleurs du mal*, 1859)

la place à de nouveaux aliments et d'éviter d'alourdir l'animal. Les grands félins tels que les lions ou les tigres ne craignent aucun prédateur autre que l'homme et s'octroient donc de copieuses siestes postprandiales (après leurs repas). Ce n'est cependant pas la règle et bien d'autres espèces sont contraintes de rester actives et de digérer le plus rapidement possible.

Les oiseaux, tout particulièrement, doivent limiter leur masse corporelle, pour pouvoir décoller ; après un festin de charogne, même le plus ventru des vautours doit pouvoir prendre son envol. En sus d'un vaste estomac très musculeux permettant de stocker et brasser la nourriture, les vautours ont donc des sucs digestifs très corrosifs : de pH égal à 1,5, ils sont presque aussi acides que l'acide chlorhydrique. Ces sucs rendent possible la dégradation chimique rapide de la nourriture et activent les enzymes responsables de la digestion des protéines (la protéolyse).