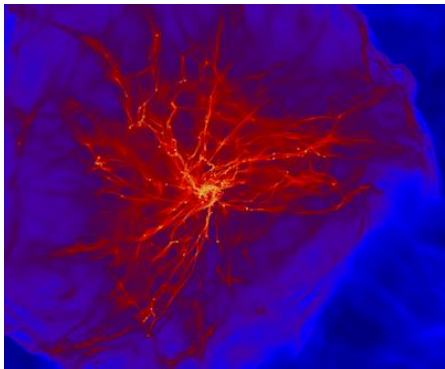




Paris, le 13 mars 2017

## Les axes de rotation des étoiles nous parlent de leur naissance



Une équipe de recherche internationale incluant le CEA, le CNRS et l'Université Grenoble-Alpes<sup>1</sup> a révélé, par astérosismologie, un surprenant alignement des axes de rotation des étoiles dans des amas ouverts, révélant les conditions dans lesquelles les étoiles se sont formées dans notre galaxie. Ce résultat a été obtenu en étudiant, grâce à la mission *Kepler* de la Nasa, un ensemble de géantes rouges dans deux anciens amas ouverts de la Voie lactée. Il est paru le 13 mars 2017 en une de *Nature Astronomy*.

En observant directement des populations stellaires âgées, les chercheurs ont décrit les conditions qui prévalaient à l'époque à laquelle les étoiles se sont formées dans notre galaxie. Ils ont notamment déterminé l'alignement des axes de rotation des étoiles dans deux amas ouverts<sup>2</sup>, remettant en question les modèles classiques de formation d'étoiles. Les résultats de cette étude d'astérosismologie sont aussi accompagnés de simulations 3D d'effondrement de nuages pré-stellaires.

La plupart des étoiles de la Voie lactée se sont formées par l'effondrement d'un nuage de gaz géant dans des zones obscurcies par le gaz et les poussières, ce qui les rend difficiles à observer directement. C'est pourquoi la compréhension des mécanismes qui régulent la formation des étoiles représente un grand défi pour l'astrophysique moderne. Avec cette découverte publiée dans *Nature Astronomy*, les scientifiques apportent un éclairage nouveau sur des processus jusque-là sous-estimés qui jouent un rôle important dans l'évolution stellaire et la formation planétaire, ainsi que, de manière générale, dans la formation et l'évolution de notre galaxie.

Avec l'avènement de la photométrie spatiale de haute précision, l'**astérosismologie**<sup>3</sup> a démontré sa capacité à sonder les intérieurs stellaires et à déterminer les paramètres fondamentaux des étoiles. L'équipe a analysé la lumière émise par environ cinquante géantes rouges<sup>4</sup> de masse comprise entre une et deux masses solaires. Ces étoiles, présentes dans deux anciens amas ouverts de la Voie Lactée (NGC 6791, âgé de huit milliards d'années, et NGC 6819, âgé de deux milliards d'années) ont été

<sup>1</sup> Les laboratoires français impliqués dans cette étude sont le laboratoire Astrophysique, Instrumentation, Modélisation (CEA/CNRS/Université Paris Diderot) et l'Institut de planétologie et d'astrophysique de Grenoble (Université Grenoble Alpes/CNRS).

<sup>2</sup> Un amas ouvert est un amas stellaire groupant environ de 100 à 1 000 étoiles de même âge liées entre elles par la gravitation.

<sup>3</sup> L'astérosismologie étudie les oscillations (appelées mouvements sismiques) des étoiles, permettant d'étudier la structure interne des étoiles car la structure et la composition des étoiles varient au cours de leur évolution, leurs modes de vibrations évoluent selon leur âge. L'astérosismologie permet ainsi d'estimer assez précisément l'âge des étoiles.

<sup>4</sup> Une géante rouge est une étoile qui a brûlé tout l'hydrogène présent dans son cœur.

observées pendant quatre ans en continu par le satellite *Kepler* de la Nasa et présentent des oscillations observables distinctement qui sont similaires à celles du Soleil.

## Les axes de rotation des étoiles pointent vers une direction commune dans le ciel

Les milliers de modes d'oscillation présents ont rendu possible la mesure précise de l'orientation de l'axe de rotation de chaque étoile de l'échantillon. Le résultat a été surprenant car presque toutes les étoiles (environ 70 %) présentent des axes de rotation fortement alignés les uns par rapport aux autres et qui pointent vers une direction commune dans le ciel. Comme le souligne le premier auteur Enrico Corsaro, astrophysicien au CEA, « *c'était totalement inattendu car, normalement, la turbulence générée par les mouvements désordonnés du gaz dans les amas aurait dû produire des axes distribués aléatoirement* ». Compte tenu de la morphologie des amas d'étoiles et des distances importantes les séparant dans un amas ouvert, les scientifiques ont conclu que ce fort alignement des axes de rotation ne peut être dû à des interactions de marée et a nécessairement eu lieu à l'époque de la formation des amas, il y a des milliards d'années.

Grâce à des simulations hydrodynamiques numériques en 3D, les astrophysiciens ont pu reproduire différentes conditions ayant présidé à la formation des étoiles. Ces simulations font notamment varier la quantité d'énergie liée à la rotation initiale du proto-amas<sup>5</sup> par rapport à celle associée aux turbulences. Ils ont pu déterminer avec ces simulations que les axes des étoiles s'alignent efficacement lorsqu'au moins 50 % du bilan d'énergie total des proto-amas est associé à la rotation. Cela montre que les propriétés de la rotation du nuage moléculaire (notamment sa vitesse angulaire globale) ont été efficacement transférées vers les étoiles individuelles se formant à l'intérieur du nuage. En outre, seules les étoiles dont la masse est suffisamment importante (d'au moins 0,7 masse solaire) peuvent hériter de ces propriétés. Par conséquent, les étoiles moins massives ne possèdent pas cet alignement observé des axes de rotation, car leur processus de formation a été en grande partie dominé par des turbulences qui ont brouillé ce mouvement angulaire. Rafael García, astrophysicien au CEA, résume : « *nous avons maintenant de nouvelles règles du jeu. L'étude du noyau profond des géantes rouges lointaines permet d'éclairer les conditions primordiales de la formation d'étoiles dans des amas stellaires âgés de 8 milliards d'années, quand l'Univers était encore très jeune.* »

A l'avenir, les observations effectuées par la future mission M3 Plato<sup>6</sup> de l'Agence spatiale européenne permettront de confirmer et d'étendre ces analyses à de nombreux autres amas stellaires de notre galaxie.

---

Contacts Presse CEA

Guillaume Milot | guillaume.milot@cea.fr | 01 64 50 20 11

François Legrand | francois.legrand@cea.fr | 01 64 50 20 11

---

<sup>5</sup> Un proto-amas est un nuage de gaz en train de s'effondrer sous l'effet de la gravitation.

<sup>6</sup> C'est la mission « Planetary Transits and Oscillations of stars » dont le lancement est prévu en 2024.

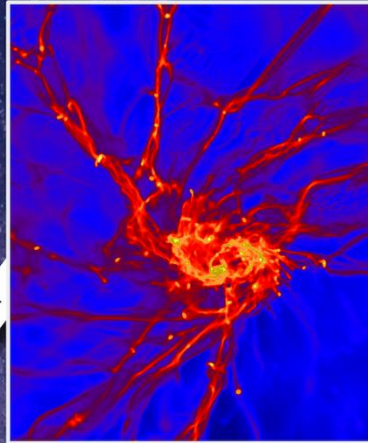
## ALIGNEMENT DES AXES DE ROTATION STELLAIRES DANS UN VIEIL AMAS

UNE FORTE ROTATION DANS  
UN NUAGE MOLÉCULAIRE EN  
EFFONDREMENT.

AU MOINS 50% DE L'ÉNERGIE  
DU PROTO-AMAS EST SOUS  
FORME DE ROTATION.

LES COEURS PRESTELLAIRES  
HÉRITENT DU MOMENT  
CINÉTIQUE DU NUAGE PARENT.

### FORMATION D'UN PROTO-AMAS



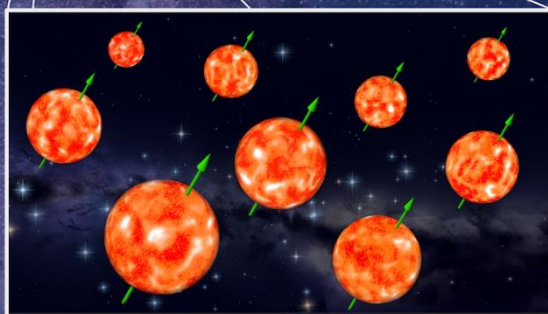
8 MILLIARDS D'ANNÉES D'ÉVOLUTION

### AMAS OUVERT NGC 6791



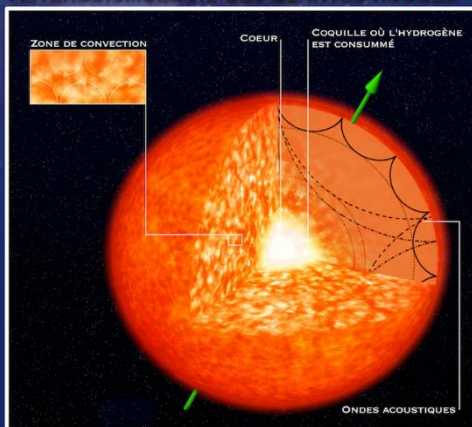
LES AMAS STELLAIRES  
AUJOURD'HUI, APRÈS PLUS DE 8  
MILLIARDS D'ANNÉES  
D'ÉVOLUTION CONTIENNENT DES  
MILLIERS D'ÉTOILES.

A PEU PRÈS 70% DES  
GÉANTES ROUGES OBSERVÉS  
PAR LA MISSION DE LA  
NASA, KEPLER, PRÉSENTENT  
UN ALIGNEMENT DE LEURS  
AXES DE ROTATION.



### FORT ALIGNEMENT DES AXES DE ROTATION

### ASTÉROSISMOLOGIE DES GÉANTES ROUGES



LES OSCILLATIONS  
STELLAIRES  
OBSERVÉES DANS  
DES GÉANTES  
ROUGES DE MASSE  
FAIBLE OU  
INTERMÉDIAIRE  
PERMETTENT DE  
MESURER  
L'INCLINAISON  
DES AXES DE  
ROTATION AVEC  
UNE GRANDE  
PRÉCISION

Crédit: E. Corsaro

**References: Spin alignment of stars in old open clusters**, Enrico Corsaro, Yueh-Ning Lee, Rafael A. Garcia, Patrick Hennebelle, Savita Mathur, Paul G. Beck, Stephane Mathis, Dennis Stello, Jérôme Bouvier, *Nature Astronomy*, DOI 10.1038/S41550-017-0064

*Illustration Ci-contre : Explication de l'origine de l'alignement des axes de rotation stellaires dans un vieil amas. © E.Corsaro*