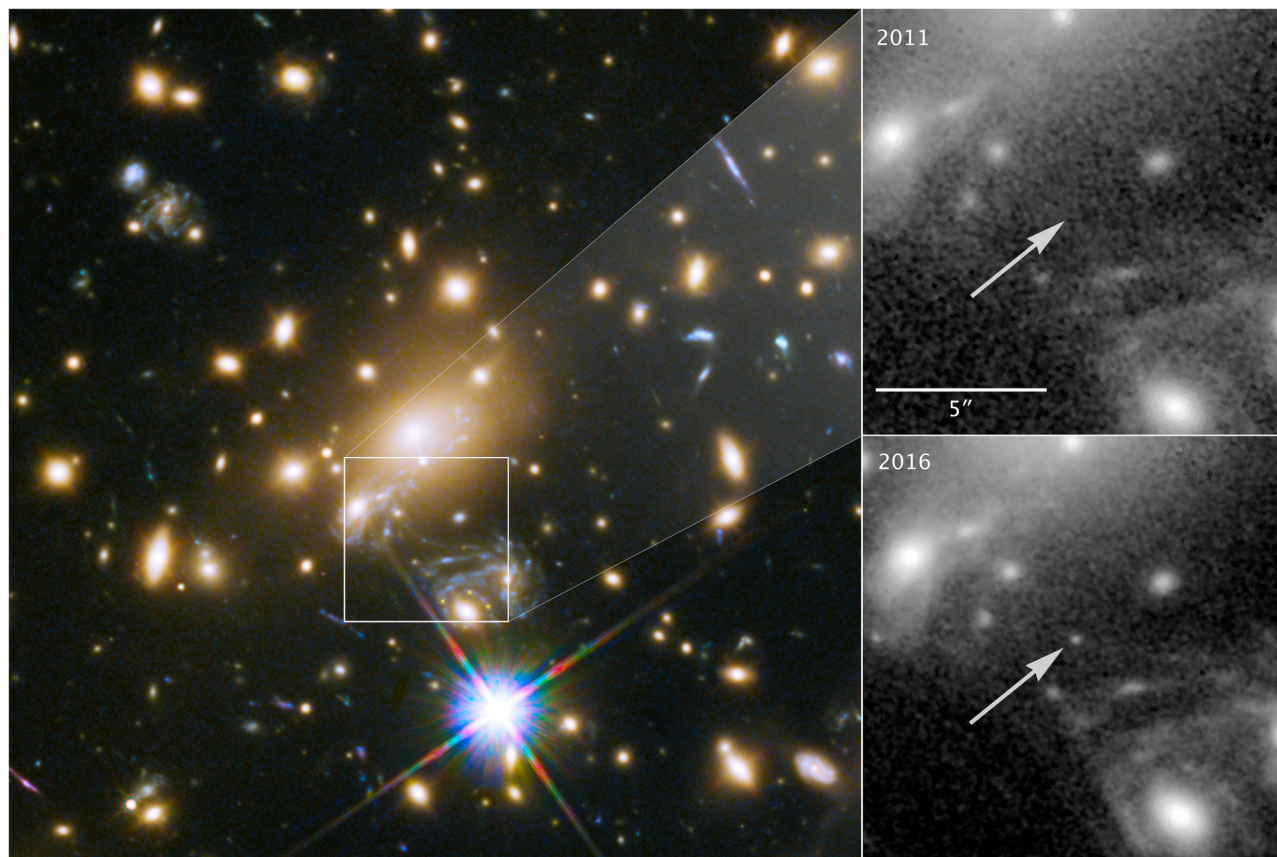


À une distance de plus de la moitié de la taille de l'Univers de nous, une énorme étoile bleue, surnommée Icarus (Icare) se trouve l'étoile la plus lointaine jamais vue. Normalement, elle a un éclat trop faible pour être vue, même en utilisant les plus gros télescopes du Monde. Mais, grâce à une bizarrerie de la nature qui amplifie considérablement le faible éclat de cette étoile, les astronomes, en utilisant le télescope spatial Hubble, ont réussi à localiser le rayonnement de cette très lointaine étoile et établir un nouveau record de distance. Ils ont aussi utilisé Icarus pour tester une théorie sur la matière noire et pour vérifier l'effet produit par un amas de galaxies en avant-plan. L'étoile, faisant partie d'une galaxie spirale très lointaine, se trouve si loin de nous que sa lumière a mis 9 milliards d'années à nous parvenir. Elle nous apparaît telle qu'elle était quand l'univers n'avait que 30% de son âge actuel.



Icarus, dont le nom officiel est MACS J1149+2223 Lensed Star 1, est la plus lointaine étoile vue individuellement. Elle n'est visible que parce qu'elle est « grossie » par la gravité d'un amas massif de galaxies, situé à environ 5 milliards d'années-lumière de la Terre. Nommé MACS J1149+2223, cet amas, vu sur la gauche, se trouve entre la Terre et la galaxie qui contient l'étoile distante, Icarus. Les images sur la droite montrent (en haut) une vue de 2011 sans que Icarus soit visible, comparée avec l'éclat de l'étoile en 2016 (en bas) - Credits: NASA, ESA, et P. Kelly (Université du Minnesota).

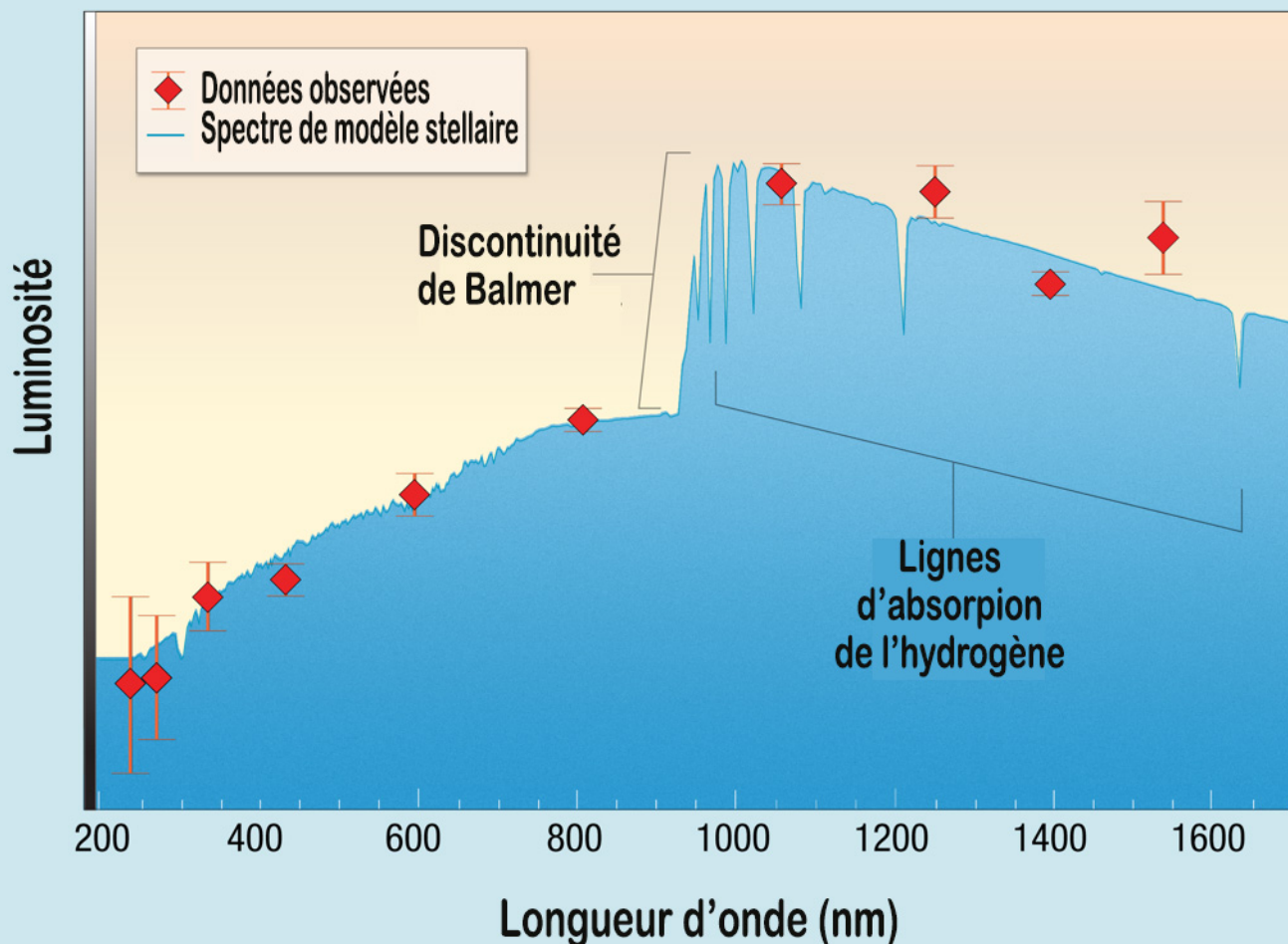
La découverte d'Icarus grâce à l'effet de lentille gravitationnelle a montré une nouvelle voie pour les astronomes d'étudier des étoiles isolées dans des galaxies très distantes. Ces observations fournissent de rares détails sur l'évolution des étoiles, particulièrement les plus lumineuses d'entre elles.

« C'est la première fois que nous voyons une étoile isolée et agrandie », explique Patrick Kelly ancien étudiant de l'Université de Californie à Berkeley, maintenant à l'Université du Minnesota. « Vous pouvez voir des galaxies dans le ciel, mais cette étoile est au moins 100 fois plus loin que la seconde plus lointaine jamais découverte précédemment, à l'exception des explosions de supernovæ. »

La Gravité comme une loupe cosmique naturelle

La bizarrerie cosmique qui rend cette étoile visible est un phénomène appelé « lentille gravitationnelle ». La gravité issue d'un amas massif de galaxies en avant-plan agit comme une loupe naturelle dans l'espace, en courbant et en amplifiant la lumière. Parfois, la lumière émise par un objet en arrière-plan apparaît comme étant une image multiple. La lumière peut être considérablement augmentée, rendant ainsi des objets très petits suffisamment lumineux pour être vus.

Comparaison entre un modèle de spectre des Supergéantes bleues et les données observées



Les scientifiques ont trouvé que les données de Hubble sur MACS J1149+2223 Lensed Star 1 (Icarus) sont compatibles avec le modèle des supergéantes bleues. Ce diagramme montre une corrélation remarquable et indique qu'Icarus est environ 2 fois plus chaud que notre Soleil. La zone en bleu montre le spectre du modèle des supergéantes bleues ajustée à la distance de la galaxie hôte de l'étoile magnifiée. Les carrés rouges sont les données effectivement mesurées sur Icarus. La longueur d'onde observée de la discontinuité de Balmer relative à sa longueur d'onde intrinsèque (environ 365 nm) est un indicateur de la distance jusqu'à l'étoile. La force de la discontinuité de Balmer dépend de la puissance de la gravité et à la température de l'étoile à sa surface –Credits: NASA, ESA, and A. Feild (STScI).

Voir en fin de document une petite explication sur la discontinuité de Balmer

Dans le cas d'Icarus, une loupe naturelle est créée par l'amas de galaxies appelé MACS J1149+2223. Situé à 5 milliards d'années-lumière environ, cet amas massif se trouve entre la Terre et la galaxie dont fait partie Icarus. En combinant la puissance de cette lentille gravitationnelle avec la magnifique résolution et sensibilité d'Hubble, les astronomes peuvent ainsi voir et étudier Icarus.

L'équipe — comprenant Jose Diego de l'Instituto de Física de Cantabria (Espagne), et Steven Rodney de l'Université de Caroline du Sud à Columbia — a nommé l'étoile « Icarus », d'après le personnage d'Icare dans la mythologie grecque qui vola trop près du Soleil avec des ailes de plumes et de cire qui fondirent. Son nom officiel est MACS J1149+2223 Lensed Star 1. Similairement à Icare, l'étoile lointaine a connu une gloire fugace, vue depuis la Terre : Elle a momentanément montré une luminosité 2.000 fois supérieure à la réalité. Les modèles suggèrent que ce formidable accroissement de luminosité est probablement dû à une étoile de la taille du Soleil, située dans la galaxie « loupe » lorsque cette étoile est passée devant Icarus. D'ordinaire, la lumière de l'étoile lointaine n'est amplifiée que d'environ 600 fois en raison de l'amas galactique en avant-plan.

Description d'Icarus

L'équipe était en train d'utiliser Hubble pour surveiller une supernova dans la très lointaine galaxie quand, en 2016, ils ont découvert un point de lumière non loin de la supernova magnifiée. D'après la position de cette nouvelle source, ils en ont déduit qu'elle devait être beaucoup plus agrandie que la supernova. Quand ils ont analysé les couleurs de la lumière venant de cet objet ils ont conclu à la présence d'une supergéante bleue. Ces étoiles sont beaucoup plus grandes, plus massives, plus chaudes et potentiellement des centaines de milliers de fois plus brillantes que notre Soleil. Mais, à cette distance, elle devrait quand même être trop loin pour être vue sans l'amplification d'une lentille gravitationnelle, même avec Hubble. Comment Kelly et son équipe ont su que ce n'était pas une autre supernova ? La source ne devient pas plus chaude, elle n'explose. Sa lumière est juste amplifiée, et c'est ce qu'on doit attendre de l'effet de lentille gravitationnelle.

À la recherche de la matière noire

En détectant l'amplification d'une simple étoile en arrière-plan a apporté l'opportunité de tester la nature de la matière noire dans l'amas de galaxies. La matière noire est une matière invisible qui compose la majeure partie de la masse de l'Univers.

En sondant ce qui flotte dans l'amas galactique plus proche, les scientifiques ont été capables de tester la théorie selon laquelle la matière noire pourrait venir essentiellement d'un immense nombre de trous noirs primordiaux formés lors de la naissance de l'univers, dotés de masses dix fois supérieures à celle du Soleil. Les résultats de ce test unique ne sont pas en faveur de cette hypothèse car les légères fluctuations lumineuses de l'étoile Icarus, analysées par Hubble sur une durée de treize ans auraient été différentes si l'on supposait l'intervention d'un essaim de trous noirs. Quand le télescope spatial James Webb sera lancé, les astronomes s'attendent à trouver beaucoup d'autres étoiles comme Icarus. L'extraordinaire sensibilité de James Webb permettra de mesurer beaucoup d'autres détails, parmi lesquels savoir si ces étoiles lointaines tournent sur elles-mêmes. Il se pourrait que de telles étoiles agrandies soient même être plus beaucoup plus communes qu'on ne le pense.

The Hubble Space Telescope is a project of international cooperation between NASA and ESA (European Space Agency). NASA's Goddard Space Flight Center in Greenbelt, Maryland, manages the telescope. The Space Telescope Science Institute (STScI) in Baltimore, Maryland, conducts Hubble science operations. STScI is operated for NASA by the Association of Universities for Research in Astronomy, in Washington, D.C.

NASA's Hubble Portal: www.nasa.gov/hubble

The science paper by J. Diego et al.: http://imgsrc.hubblesite.org/hvi/uploads/science_paper/file_attachment/319/dm-microscope_Feb22resubmitted.pdf

The science paper by S. Rodney et al.: http://imgsrc.hubblesite.org/hvi/uploads/science_paper/file_attachment/318/Rodney_accepted_Nature_Astronomy.pdf

The science paper by P. Kelly et al.: http://imgsrc.hubblesite.org/hvi/uploads/science_paper/file_attachment/310/nature_astro_v3.pdf

The science paper by P. Kelly et al. (Nature Astronomy): <http://dx.doi.org/10.1038/s41550-018-0430-3>

The science paper by S. Rodney et al. (Nature Astronomy): <http://dx.doi.org/10.1038/s41550-018-0405-4>

Hubble-Europe's Release: <http://www.spacetelescope.org/news/heic1807>

Ann Jenkins / Ray Villard

Space Telescope Science Institute, Baltimore, Maryland

410-338-4488 / 410-338-4514

jenkins@stsci.edu / villard@stsci.edu

Patrick Kelly

University of Minnesota-Twin Cities, Minneapolis, Minnesota

510-859-8370

plkelly@umn.edu

Last Updated: April 2, 2018

Editor: Karl Hille

Traduction du texte, du diagramme et complément : Olivier Sabbagh

NDT : En physique atomique, la **série de Balmer** est la série de raies spectrales de l'atome d'hydrogène correspondant à une transition électronique d'un état quantique de nombre principal $n > 2$ vers l'état de niveau 2. L'identification de la série et la formule empirique donnant les longueurs d'onde est due à Johann Balmer (en 1885) sur la base du spectre visible. La justification *a posteriori* provient de la physique quantique.

Terminologie et notation

Chacune des raies de la série est appelée une **raie de Balmer** et est notée par la lettre H. Les premières sont numérotées à l'aide de l'alphabet grec par ordre décroissant de longueur d'onde.

La limite de la série est appelée la **limite de Balmer** et est notée H_{∞} .

Mise en évidence

La série a été mise en évidence par Balmer en 1885. Il relève que les longueurs d'onde des raies alors connues sont les termes d'une suite qui converge vers 364,56 nanomètres. Il propose l'équation suivante qui permet de retrouver les longueurs d'onde des raies connues : $H = m^2 / (m^2 - 2^2) h$, où :

- H est la longueur d'onde de la raie ;
- m est un entier supérieur à 2 ;
- h est une constante de proportionnalité ($h = 3645,6$).

L'équation, connue comme la **formule de Balmer**, est aussi notée : $\lambda = B m^2 / (m^2 - 2^2)$, où B est la **constante de Balmer**.

Elle est aujourd'hui notée à partir de la formule de Rydberg :

$$\lambda = \frac{1}{R_H (1/4 - 1/n^2)}$$

où R_H est la constante de Rydberg associée à l'hydrogène.

Principales raies et limite de la série

Principales raies de Balmer et limite de la série				
Transition	Notation usuelle	Notation de l'IUPAB	λ (Å)	Couleur
$3 \rightarrow 2$	H α	L-M	6 562,80 ⁶	rouge
$4 \rightarrow 2$	H β	L-N	4 861,32 ⁶	bleu
$5 \rightarrow 2$	H γ	L-O	4 340,46 ⁶	violet
$6 \rightarrow 2$	H δ	L-P	4 101,73 ⁶	violet
$7 \rightarrow 2$	H ϵ	L-Q	3 970,07 ⁶	proche ultraviolet
$8 \rightarrow 2$	H8		3 889	
$9 \rightarrow 2$	H9		3 835	
$\infty \rightarrow 2$	H $_{\infty}$	—	~ 3 646	proche ultraviolet

Correspondances avec les raies de Fraunhofer

Les raies H α , H β , H γ et H δ de la série de Balmer correspondent respectivement aux raies de Fraunhofer C, F, f — aussi notée G' — et h — bien que h soit aujourd'hui la notation de la raie de l'atome de magnésium ionisé une fois à 2 802 ångströms de longueur d'onde.

La **limite de Balmer** est la région de l'extrémité bleue du spectre, située à 3646 ångströms de longueur d'onde, près de laquelle la séparation entre les raies successives diminue et s'approche d'un continuum.