



UNIVERSITÉ
DE GENÈVE

FACULTÉ DES SCIENCES
Département d'astronomie

Quelques highlights de l'Observatoire astronomique de l'Université de Genève

Travaux remarquables récents parmi les activités de recherche



*L'Observatoire de Genève sur le site de Sauvigny.
Le Laboratoire d'astrophysique de l'EPFL est aussi installé dans ces bâtiments.*



*Le télescope de l'Observatoire de Genève
sur le site de La Silla (ESO, Chili)*



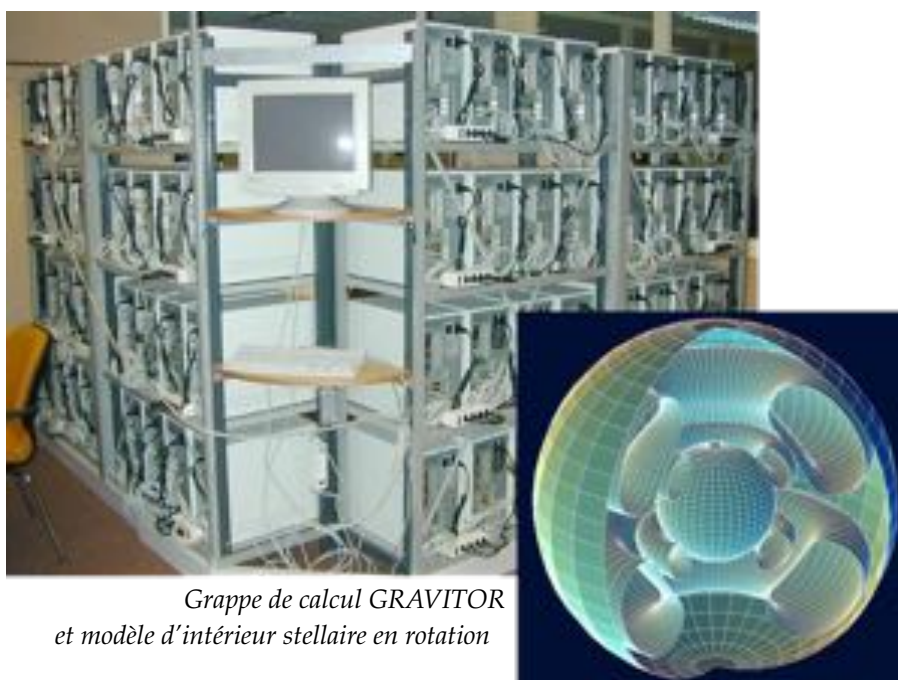
*L'Integral Science Data Center (ISDC)
sur le site d'Ecogia*



Soutenance de thèse de doctorat



Montage du spectrographe HARPS



*Grappe de calcul GRAVITOR
et modèle d'intérieur stellaire en rotation*

Le ciel profond livre de nouveaux secrets

A quoi pouvait bien ressembler notre galaxie, moins d'un milliard d'années après le Big Bang ? Grâce à de nouvelles images du ciel profond, prises à la fin de l'an dernier par le télescope spatial Hubble, des chercheurs ont pu donner les caractéristiques des plus lointaines galaxies jamais observées. Située proche de la limite de ce qu'il est possible de voir depuis la Terre, l'une de ces galaxies montre à quoi elle ressemblait lorsque l'Univers n'était âgé que de 650 millions d'années ? du fait que son image a mis plus de 13 milliards d'années à parvenir jusqu'à nous.

A ce stade de leur formation, les galaxies sont très denses et fonctionnent comme des pouponnières d'étoiles extrêmement actives. La plus lointaine de ces galaxies est environ 30 fois plus petite que notre Voie Lactée, mais produit des étoiles à une cadence au moins 10 fois supérieure. Ces calculs ont été rendus possibles grâce aux modèles de Daniel Schaerer, de l'Université de Genève, un expert des premières galaxies.

A elles seules, les performances du télescope Hubble ne permettraient pas d'en apprendre autant sur ces objets situés aux confins du monde observable. Les chercheurs augmentent l'efficacité du télescope grâce au phénomène des « lentilles gravitationnelles » : la masse colossale des amas de galaxies lointains a pour effet de rendre visible et de démultiplier l'image des objets placés derrière eux. Les chercheurs se servent de ce phénomène pour amplifier jusqu'à 100 fois la quantité de lumière émise par une galaxie lointaine. Une bonne modélisation de la distribution de masse au sein de ces amas de galaxies réalisée par les chercheurs du LASTRO de l'EPFL a permis d'identifier les zones du ciel susceptibles de jouer ce rôle de télescope naturel, et la NASA a accepté d'observer ces zones avec les télescopes Hubble et Spitzer pour une campagne d'observation commencée en novembre et qui durera trois ans.

Ces premiers résultats, extrêmement prometteurs, seront encore affinés dans les mois à venir, notamment grâce aux nouvelles images que prendra Hubble au moyen d'un second capteur dans le domaine visible. D'ici quelques années, le télescope James Webb, bien plus puissant que Hubble, fournira aussi son lot de données à traiter. Le travail sur ces « champs frontières », aux confins de l'Univers, ne fait donc que commencer.

Référence : N. Laporte, A. Streblyanska, B. Clement, I. Pérez-Fournon, **Daniel Schaerer**, et al. (2014) A&A, 562, L8

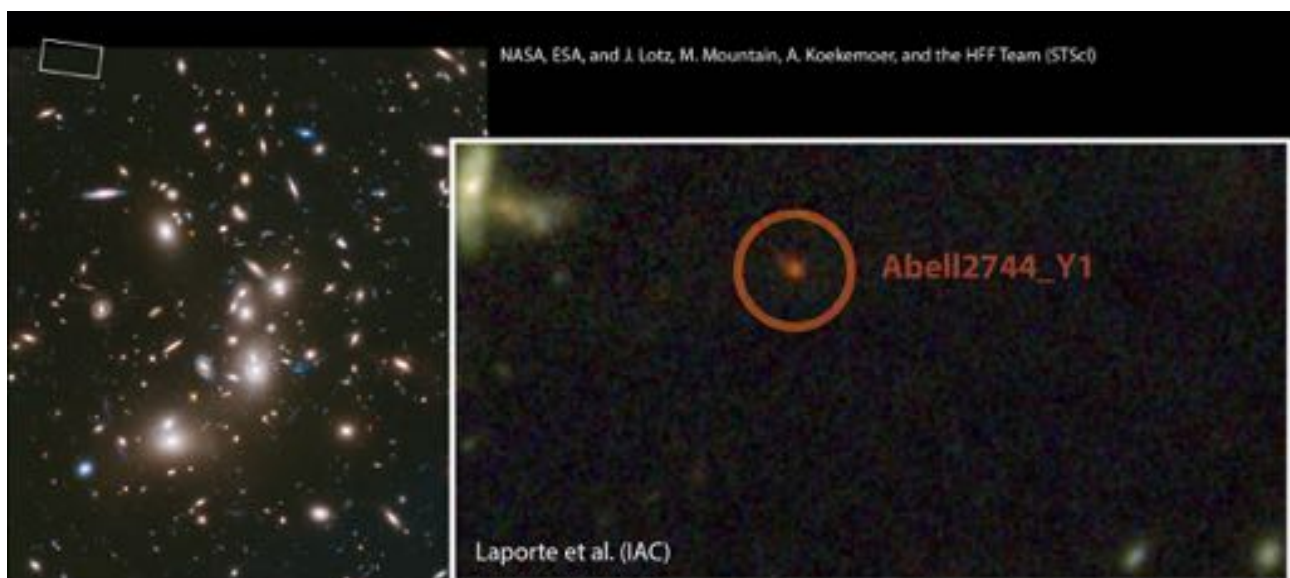


Image de la galaxie lointaine, appelée Y1, découverte derrière l'amas de galaxies Abell 2744. Le redshift photométrique de la galaxie est $z \approx 8.0$, indiquant qu'elle se situe à environ 13 milliard d'années lumière. La galaxie est ainsi vue comme elle était environ 650 millions d'années après le Big Bang. Credits : N. Laporte (IAC)

Un jet extraordinaire émis par un pulsar en fuite

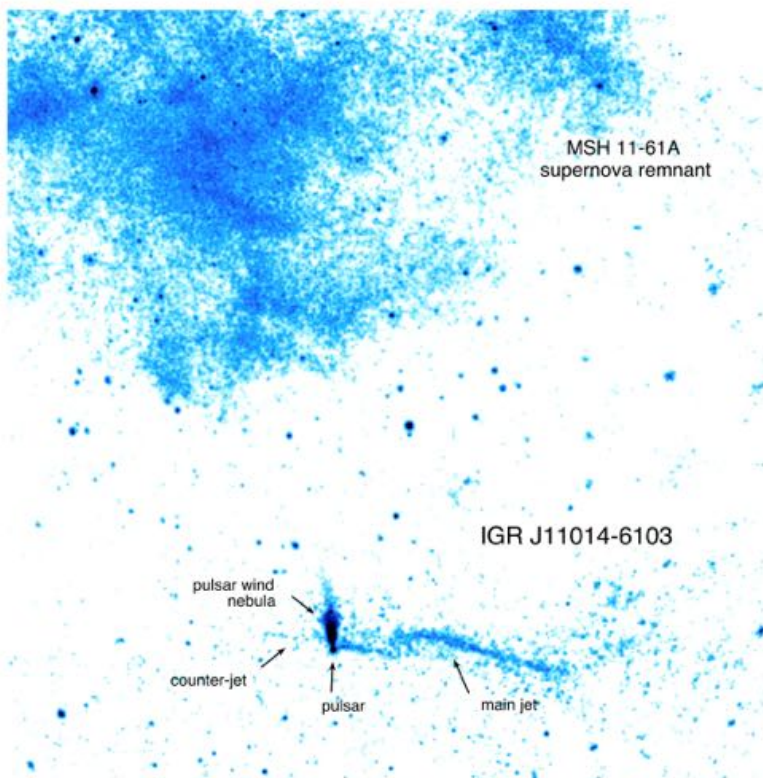
Le balayage en profondeur du plan galactique que le satellite INTEGRAL effectue depuis plus de 10 ans donne à présent accès à de nouvelles populations de sources de rayons X intrigantes et faibles. IGR J11014-6103, surnommé la nébuleuse du phare, est le dernier objet étonnant révélé grâce aux capacités uniques d'INTEGRAL.

Cet objet est un pulsar, le noyau compact en rotation rapide qui subsiste lorsqu'une étoile massive s'est effondrée et a explosé. Les astronomes observent ce pulsar fuyant loin du rémanent de la supernova, le champ de débris laissés après l'explosion de l'étoile. Ce pulsar en fuite émet un jet spectaculaire qui brille dans les rayons X. Avec une longueur de 15 pc (~ 40 années-lumière), ce jet est le plus long jet de rayons X jamais trouvé dans notre Galaxie, la Voie Lactée. On observe également un faible jet émis dans la direction opposée.

La nébuleuse du phare a plusieurs caractéristiques intéressantes. Par exemple, on observe un motif en tire-bouchon dans le jet. Ceci suggère que le pulsar oscille comme une toupie. Le pulsar a également produit un cocon de particules de haute énergie qui l'enveloppe et qui forme derrière lui une structure ressemblant à la queue d'une comète. Une autre propriété exceptionnelle du pulsar est sa vitesse, estimée entre 1000 et 2000 km/h, ce qui en fait l'un des pulsars les plus rapides jamais observés. Le fait que le pulsar se déplace dans un sens et le jet dans l'autre donne des indices qu'une physique exotique peut être à l'œuvre lorsque certaines étoiles s'effondrent. Une des possibilités implique une vitesse de rotation extrêmement rapide du noyau de fer dans l'étoile en pré-supernova, ce qui pose problème car on ne s'attend pas à ce que des rotations si rapides soient couramment obtenues.

Les chercheurs vont maintenant devoir répondre aux nouvelles questions que cet objet ouvre sur la formation du pulsar et du jet. L'élargissement de notre compréhension du mécanisme de supernova par effondrement de cœur qui a formé la nébuleuse de phare peut avoir des implications sur plusieurs aspects de l'astrophysique où les supernovae jouent un rôle majeur : de l'évolution des étoiles aux distributions des propriétés des étoiles à neutrons et des trous noirs, ainsi que la cosmologie.

Référence : Lucia Pavan, P. Bordas, G. Puhhofer et al. (2014) *A&A*, 562, A122



La source IGR J11014-6103 vue dans les rayons X par INTEGRAL.

Credits : ESO, ISDC/L. Pavan

Découverte d'un nouveau type de planète : une Terre géante

Une équipe internationale d'astronomes, dirigée par l'UniGE, annonce la découverte d'une planète d'un genre nouveau : un monde solide, de composition rocheuse, d'une masse 17 fois supérieure à celle de la Terre. Les modèles théoriques n'envisageaient pas l'existence de tels « monstres rocheux » car leur attraction gravitationnelle devrait leur permettre d'amasser non seulement des matériaux solides, mais aussi et surtout de grandes quantités d'hydrogène et d'hélium, les éléments les plus abondants de notre Univers. Dans ce cas, la planète se transformerait en géante gazeuse comme Jupiter et ne ressemblerait plus du tout à la Terre. Or, la récente découverte, publiée dans la revue *ApJ*, montre que ce scénario n'est pas forcément la règle.

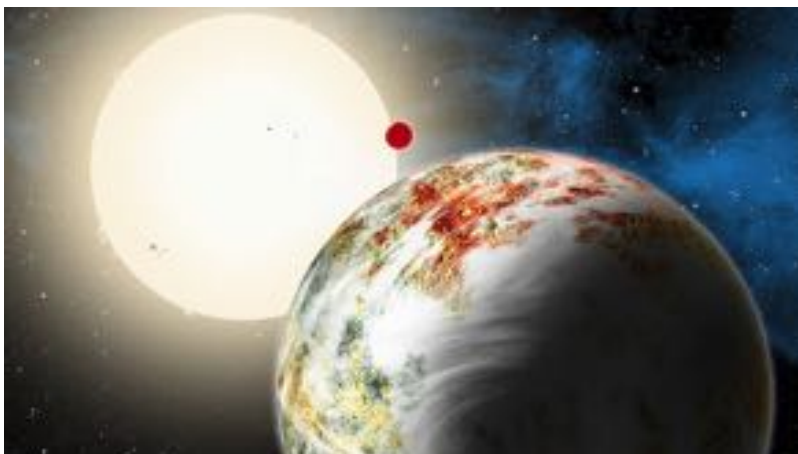
La nouvelle « Terre géante », Kepler-10c, tourne autour d'une étoile similaire au Soleil en 45 jours. Elle est située à environ 560 années-lumière de la Terre, en direction de la constellation du Dragon. Le système comprend également une autre planète, Kepler-10b. Tournant autour de l'étoile en seulement 20 heures, il s'agit ici d'un « monde de lave » chauffé à l'extrême, d'une masse trois fois supérieure à celle de la Terre.

Kepler-10c a été repérée pour la première fois par le satellite Kepler de la NASA. Le satellite utilise la méthode dite « des transits », qui consiste à mesurer précisément la diminution de la lumière d'une étoile lorsqu'une planète passe devant cette dernière. La quantité de lumière masquée par la planète renseigne directement sur le diamètre de celle-ci. Malheureusement, le diamètre seul ne permet pas de savoir si une planète est rocheuse ou gazeuse. Les astronomes savaient que Kepler-10c avait un diamètre d'environ 29'000 km, 2.3 fois supérieur à celui de la Terre. Cette taille assez imposante suggérait plutôt une planète de type « mini-Neptune », comprenant une épaisse enveloppe d'hydrogène et d'hélium. La masse de Kepler-10c a pu être mesurée précisément grâce à l'instrument HARPS-Nord installé sur le Telescopio Nazionale Galileo (TNG) sur l'île de La Palma aux Canaries. L'équipe d'astronomes du consortium HARPS-Nord a pu déterminer que la planète était 17 fois plus « lourde » que la Terre, bien davantage que ce qui était attendu. Par conséquent, Kepler-10c est une planète très dense, faite principalement de roches et d'autres composants solides.

Une autre particularité intéressante de cette découverte est que le système de Kepler-10 est âgé d'environ 11 milliards d'années, ce qui signifie qu'il s'est formé moins de 3 milliards d'années après le Big Bang. Il démontre que l'Univers était capable de créer de grandes planètes rocheuses même à une époque où les éléments chimiques nécessaires étaient rares. Ces travaux impliquent que les astronomes ne doivent pas négliger les vieilles étoiles dans leur quête de planètes. Un point crucial quand on sait que la majorité des étoiles proches de notre Soleil ont déjà atteint un âge respectable. De nombreuses planètes similaires à la Terre se cachent donc probablement autour de nos plus proches voisins cosmiques.

Référence : **Xavier Dumusque** et al. (2014) *ApJ*, 589, 154

34 co-auteurs dont **Damien Ségransan, Francesco Pepe, Stéphane Udry, Christophe Lovis, Michel Mayor, Fatemeh Motalebi et Didier Queloz**



Une illustration d'artiste de la mega-Terre Kepler-10c (au premier plan), la « Godzilla des Terres » avec ses 17 masses terrestres. Elle tourne autour d'une étoile semblable au soleil, Kepler-10, en 45 jours. Le système accueille également Kepler-10b un « monde de lave » de 3 masses terrestre (ici au 2ème plan) qui a une orbite de 20 heures seulement. Credits : David A. Aguilar (Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics)

Un filament de gaz à haute vitesse éclipse un trou noir supermassif

Une équipe internationale d'astronomes a découvert que le trou noir supermassif au coeur de la galaxie NGC 5548 a récemment subi une étrange transformation, rarement observée dans de telles galaxies actives. Les chercheurs ont détecté une structure de gaz floconneuse s'échappant à haute vitesse et bloquant 90% des rayons X émis par le trou noir supermassif au centre de la galaxie. Cette activité nous procure une vue inédite de l'interaction entre les trous noirs supermassifs et leurs galaxies hôtes. Bien que l'on connaisse déjà des exemples de telles structures gazeuses, c'est la première fois que l'on voit le filament traverser notre ligne de visée. Cette coïncidence unique a permis aux chercheurs d'en conclure l'existence du processus longtemps prédit d'écrantage, qui est requis afin d'accélérer de puissants « vents » de gaz à de très haute vitesse.

La matière tombant dans le trou noir s'échauffe fortement et émet du rayonnement X et ultraviolet. Le rayonnement ultraviolet peut propulser des vents de gaz. Ces vents peuvent être si forts qu'ils arrivent à souffler tout le gaz aux alentours, qui, sinon, aurait fini par être avalé par le trou noir. Les vents provenant des trous noirs peuvent donc réguler à la fois la croissance du trou noir et de sa galaxie hôte. Mais les vents ne peuvent apparaître que s'ils sont protégés des rayons X au moment de leur formation. Le filament de gaz découvert ici dans la galaxie de Seyfert NGC 5548 ? une des sources de ce type les plus étudiées ces dernières décennies ? apporte cette protection. Il semble que ce filament a été en place pendant au moins trois ans. Le gaz bloque 90% des rayons X de basse énergie émis à proximité du trou noir et cache près du tiers de la région qui émet le rayonnement ultraviolet, situé à une distance de quelques jours-lumière du trou noir. À cause de cet écrantage, le vent éloigné du noyau reçoit moins de rayonnement et se refroidit. Ce refroidissement se traduit par des signatures caractéristiques dans le spectre ultraviolet du vent observé par Hubble.

Cette découverte a été rendue possible grâce à une intense campagne d'observation avec les observatoires spatiaux majeurs de l'ESA et de la NASA : XMM-Newton, the Hubble Space Telescope, Swift, NuSTAR, Chandra et INTEGRAL.

Référence : J.S. Kaastra et al. (2014) *Science*, 345, 64

34 co-auteurs dont **Rozenn Boissay** et **Stéphane Paltani**



Image de la galaxie NGC 5548 prise au télescope de 1,3 m du MDM Observatory.

Crédits : Dr Misty Bentz

Des astronomes apportent la 3e dimension à l'éruption d'une étoile condamnée

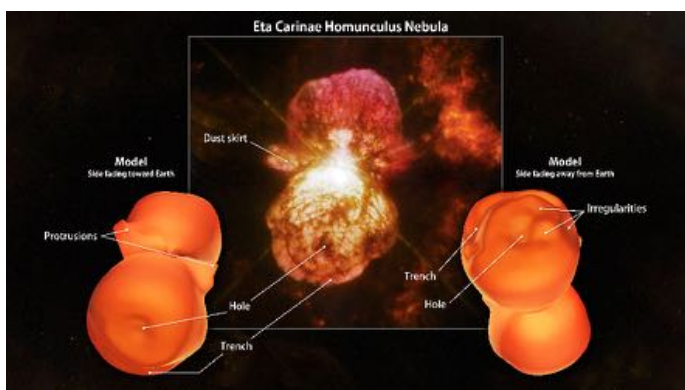
Au milieu du 19e siècle le système d'étoiles binaires massives η Carinae a subi une éruption qui a éjecté au moins 10 fois la masse du Soleil et en a fait la deuxième étoile la plus brillante dans le ciel. Aujourd'hui, pour la première fois, une équipe d'astronomes s'est servi des toutes dernières observations du système pour créer un modèle détaillé en 3D du nuage en expansion produit par l'éruption stellaire.

η Carinae se trouve à 7'500 années-lumière dans la constellation de la Carène, visible dans l'hémisphère sud, et est l'un des système binaire les plus massifs que les astronomes peuvent étudier en détail. La plus petite des deux étoiles fait environ 30 fois la masse du Soleil et est environ un million de fois plus lumineuse. L'étoile principale fait environ 90 fois la masse du Soleil et émet 5 millions de fois son énergie. Entre 1838 et 1845, η Carinae a subi une période de variabilité inhabituelle durant laquelle elle est devenue brièvement plus lumineuse que Canopus, la deuxième étoile la plus lumineuse du ciel austral. Durant cet événement, que les astronomes ont baptisé la "Grande éruption", une coquille gazeuse contenant de 10 à 40 fois la masse du Soleil a été éjectée dans l'espace. Cette matière forme deux lobes opposés, remplis de poussière, et connu sous le nom de la nébuleuse de l'Homuncule. Ces lobes sont à présent à environ 1 année-lumière des étoiles centrales et s'éloignent à une vitesse supérieure à 2,1 millions de km/h.

Grâce au Very large telescope (VLT) de l'Observatoire européen austral (ESO) et à son spectrographe X-Shooter, un peu plus de deux nuits d'observation ont suffi à l'équipe pour obtenir des données dans l'infrarouge, le visible et l'ultraviolet, sur 92 bandes distinctes à travers la nébuleuse, créant la carte spectrale la plus complète à ce jour. Les informations sur la géométrie et les vitesses ont permis aux chercheurs de créer le premier modèle détaillé en 3D de la nébuleuse de l'Homuncule. La forme du modèle, publiée dans le journal Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, a été développée sur la base d'une seule raie d'émission dans le proche infrarouge, émise par l'hydrogène moléculaire du gaz. L'émission à $2,12 \mu\text{m}$ se décale légèrement en longueur d'onde selon la vitesse et la direction du gaz en expansion, ce qui permet à l'équipe de sonder des zones de la nébuleuse même obscurcies par la poussière et s'éloignant de la ligne de visée de la Terre.

Pour la première fois, il a été mis évidence que d'intenses interactions entre les deux étoiles ont joué un rôle déterminant pour sculpter la nébuleuse telle que nous le voyons aujourd'hui. Chaque 5,5 ans, lorsque les deux étoiles sont au plus proche (au périastre), elles ne sont séparées l'une de l'autre que de la distance moyenne entre Mars et le Soleil. Les deux étoiles subissent de puissantes éjections de gaz (appelées vent stellaire), qui interagissent en permanence, mais plus dramatiquement durant le périastre, lorsque le vent le plus rapide éjecté par l'étoile la plus petite creuse un tunnel à travers le vent plus dense de son compagnon. Les nouvelles caractéristiques découvertes suggèrent fortement que les interactions des deux étoiles constituant η Carinae ont contribué à sculpter l'Homuncule et qu'il continue de porter la trace d'une interaction au périastre durant la Grande éruption.

Référence : W. Steffen, M. Teodoro, T.I. Madura, José H. Groh et al. (2014) MNRAS, 442, 3316



Un nouveau modèle de la forme de la nébuleuse de l'Homuncule apportent les premières preuve de la forte influence - peut-être toujours actuelle - du système binaire central sur le nuage en expansion. Crédits : NASA's Goddard Space Flight Center

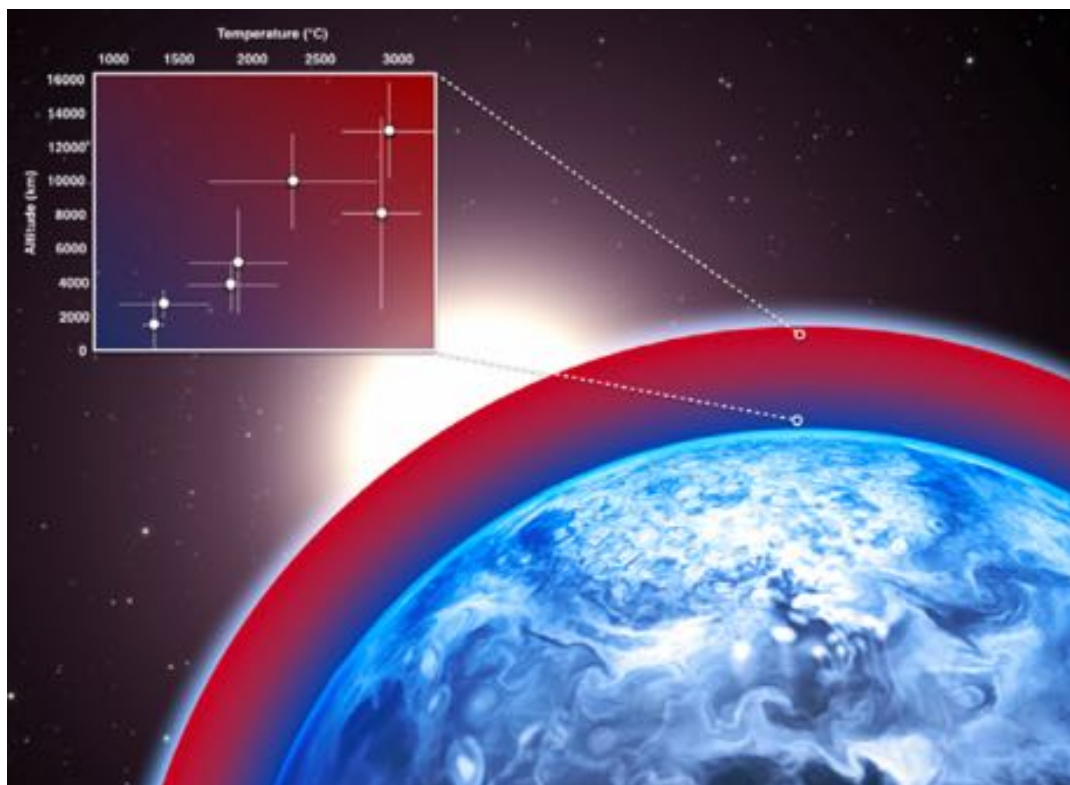
Une exoplanète à l'atmosphère infernale

Avec une température de 3000 degrés et des vents d'altitude soufflant à plusieurs milliers de kilomètres à l'heure, l'atmosphère de l'exoplanète HD189733b est bien agitée. Les chiffres ressortent d'observations faites sur des raies spectrales de sodium. Cet élément est contenu dans l'atmosphère de l'exoplanète et a été mesuré par le spectromètre HARPS, un instrument conçu à l'Observatoire de l'UNIGE et installé sur un télescope de l'Observatoire européen austral (ESO) au Chili.

Lorsqu'il existe dans une atmosphère, le sodium est la source d'un signal nettement reconnaissable, dont l'intensité varie au moment où la planète passe devant son étoile, un événement appelé transit. Cet effet avait été prédit en 2000 et mis en évidence deux ans plus tard par des observations du télescope spatial Hubble. Mais il n'avait pu être dès lors détecté depuis le sol qu'à partir de télescopes géants de 8 à 10 mètres de diamètre. A l'UNIGE, les astronomes ont eu l'idée d'utiliser les observations déjà réalisées par le spectromètre HARPS pour étudier les raies du sodium. En scrutant attentivement des données recueillies au cours de nombreuses années, Aurélien Wytenbach a pu détecter les variations des raies du sodium lors de plusieurs transits de HD189733b.

Étonnamment, l'analyse des données HARPS au sol produit une détection équivalente, en termes de sensibilité, à celle du télescope spatial Hubble, mais de loin meilleure en termes de résolution spectrale. C'est ce dernier aspect qui a permis d'obtenir une analyse bien plus fine qu'auparavant, et ceci en dépit d'un télescope dont le diamètre reste modeste. Cette étude ouvre donc la voie à l'exploration des atmosphères des exoplanètes avec des outils plus accessibles que les télescopes géants ou spatiaux.

Référence : Aurélien Wytenbach, David Ehrenreich, Christophe Lovis, Stéphane Udry & Francesco Pepe (2015) A&A 577, A62



L'atmosphère de HD189733b et le calcul de sa température. Crédits : NASA, ESA

Le compagnon caché de δ Cephei

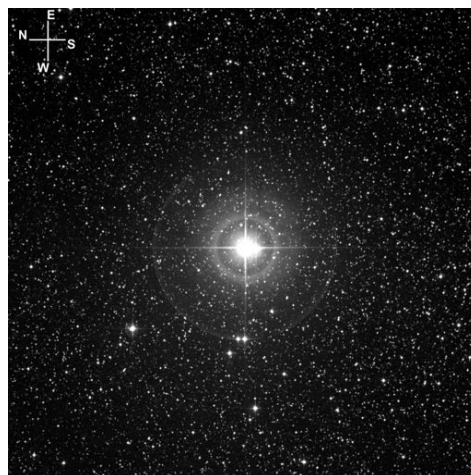
Pour mesurer les distances dans l'Univers, les astronomes utilisent les Céphéides, une famille d'étoiles variables dont la luminosité varie avec le temps. Leur rôle de calibre de distances leur a valu l'attention des chercheurs depuis plus d'un siècle. Alors que l'on croyait tout savoir sur le prototype des Céphéides, nommé δ Cephei, une équipe de chercheurs de l'Université de Genève, de l'Université Johns Hopkins, et de l'Agence spatiale européenne vient de découvrir que cette étoile n'est pas seule, mais qu'elle possède un compagnon caché. La découverte est due au spectrographe Hermes, installé sur le télescope Mercator basé à La Palma, aux Canaries. Grâce à la spectroscopie Doppler de haute précision (développée et utilisée pour la recherche d'exoplanètes), les chercheurs ont découvert que la vitesse avec laquelle δ Cephei s'approche du Soleil n'est pas constante, mais change de manière caractéristique avec le temps. Ce changement de vitesse ne peut s'expliquer que par la présence d'une autre étoile, qui tournerait autour de δ Cephei. Il s'agit donc d'un compagnon secret, dont on ne soupçonnait pas l'existence. Grâce aux observations et à des données de la littérature scientifique, l'orbite des deux étoiles a pu être caractérisée et la masse du compagnon a été déterminée : elle est 10 fois plus légère que δ Cephei).

A cause de son orbite excentrique, δ Cephei est tantôt éloignée, tantôt plus proche de son compagnon ; cela laisse penser qu'elle a eu une évolution très dynamique, puisque les deux étoiles se rapprochent à moins de deux fois la distance Terre-Soleil (unité astronomique) tous les 6 ans. C'est une petite distance pour une étoile supergéante telle que δ Cephei, dont le rayon est 43 fois plus grand que celui du Soleil. L'excentricité de l'orbite de δ Cephei porte à croire que les deux étoiles ont eu des interactions, à cause des forces de marée, lorsqu'elles se rapprochaient. Ceci pourrait aider à l'interprétation des travaux d'autres astronomes dans le passé qui ont observé un environnement circumstellaire étrange pour lequel aucune explication définitive n'a été trouvée.

Cette étude pourrait aussi inspirer d'autres études visant à mieux comprendre l'évolution de δ Cephei, car la binarité est un phénomène essentiel à l'interprétation de l'évolution d'une étoile. Appréhender l'évolution des Céphéides est d'autant plus intéressant qu'elles sont très utiles pour comprendre la structure et l'évolution des étoiles en général. De nouvelles mesures prises avec le spectrographe Hermes seront nécessaires pour tracer avec précision le passé éventuellement tumultueux de δ Cephei, et les observations de Gaia apporteront des données essentielles à ce sujet.

Cette étude ne remet pas en question l'échelle des distances dans son ensemble, mais permet l'amélioration de la précision des mesures d'un des échelons, ce qui profite à terme à la cosmologie. Elle rappelle également que rien n'est jamais acquis : si même l'une des Céphéides les plus proches de nous recèle de tels secrets, qui sait ce que nous découvrirons à propos des étoiles les plus lointaines ?

Référence : **Richard Anderson, J. Sahlmann, Berry Holl, Laurent Eyer, Lovro Palaversa, Nami Mowlavi, Maria Süveges, Maroussia Roelens** (2015) *ApJ* 804, 144



L'étoile variable δ Cephei. Crédits : STScI

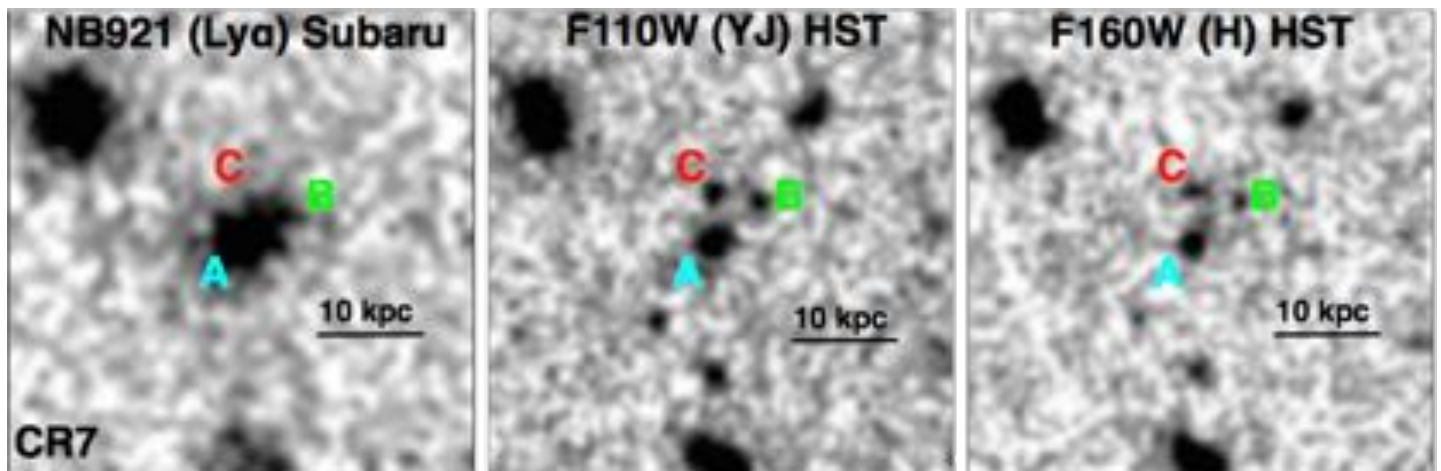
On a vu les toutes premières étoiles

L'une des plus anciennes générations stellaires confirmée par une observation

A l'Observatoire austral européen (ou ESO, pour European Southern Observatory), grâce au Very Large Telescope (VLT) et à l'aide aussi du télescope SUBARU et Keck, des chercheurs ont repéré la galaxie la plus brillante qui ait jamais été trouvée dans l'Univers primordial. Les signatures observées dans cette galaxie correspondent aux prédictions faites en 2002 par Daniel Schaerer de l'Observatoire de Genève pour les étoiles primordiales. L'équipe d'astrophysiciens a ainsi de surcroît pu attester que la galaxie lointaine recèle très vraisemblablement des spécimens représentatifs des premières générations d'étoiles.

Ces objets massifs, extraordinairement lumineux et qui ne relevaient jusqu'à aujourd'hui que de la prédiction théorique sont à l'origine des premiers éléments lourds de l'histoire, ceux-là même sans qui ni les étoiles telles que nous les voyons aujourd'hui, ni les planètes qui orbitent autour d'elles, ni la vie comme nous la connaissons n'existeraient. En attestant la présence d'étoiles aussi anciennes, ces premières observations directes vont permettre un bond dans la compréhension d'une étape cruciale de l'évolution chimique de l'Univers.

Référence : D. Sobral, J. Matthee, B. Darvish, **Daniel Schaerer**, et al. (2015), ApJ, 808, 139



CR7 vu par le télescope Subaru (à gauche) et le Hubble Space Telescope (HST, au centre et à droite). Trois régions sont clairement visibles sur les images HST. La signature d'une population primordiale provient de la composante A, les composantes B et C présentant une population stellaire déjà plus enrichie.

Crédits : STScI / Subaru

Une planète qui se prend pour une comète

Avec une masse d'environ 23 fois celle de notre Terre, l'exoplanète GJ 436b tourne autour de son étoile en trois jours seulement et possède une atmosphère tellement chauffée par l'étoile qu'elle laisse derrière elle une gigantesque traînée d'hydrogène. Ce nuage d'hydrogène a pu être observé dans l'ultraviolet avec le télescope spatial Hubble, car l'hydrogène absorbe la lumière ultraviolette de l'étoile : lorsque le nuage passe devant l'étoile, il occulte la moitié de l'étoile. C'est cette éclipse partielle, invisible pour l'oeil humain, qui a été détectée dans l'ultraviolet.

La présence de ce nuage d'hydrogène signifie que l'atmosphère de GJ 436b est en train d'échapper à la planète ; on parle d'évaporation atmosphérique. Cette évaporation est spectaculaire, ce qui se reflète dans la taille gigantesque du nuage – bien plus gros que l'étoile, mais elle ne menacerait pas l'atmosphère de GJ 436b. En effet, cette exoplanète s'est formée il y a plusieurs milliards d'années et possède suffisamment d'hydrogène pour survivre encore plusieurs milliards d'années, malgré la perte de 1 000 tonnes d'hydrogène par seconde mesurée par les astronomes. Elle n'aurait perdu que 10% de son atmosphère depuis sa formation.

Mais l'évaporation d'exoplanètes pourrait en revanche expliquer la disparition des atmosphères observée sur des exoplanètes rocheuses, qui tournent tout près de leur étoile et sont extrêmement chaudes, les fameuses «super-terres» découvertes par l'instrument suisse HARPS et les télescopes spatiaux Corot et Kepler. Moins chanceuses que GJ 436b, celles-ci pourraient avoir été des Neptunes chauds orbitant autour d'étoiles plus lumineuses que GJ 436, qui auraient soufflé leur atmosphère, finissant par laisser à nu le cœur rocheux de la planète.

Ce type d'observations est très prometteur pour la recherche de planètes habitables car il pourrait permettre de détecter l'hydrogène provenant de l'eau d'océans en train de s'évaporer sur des planètes terrestres légèrement plus chaudes que la Terre.

Enfin, de telles observations pourraient permettre d'envisager le lointain futur de notre planète, lorsque, dans 3 ou 4 milliards d'années, le Soleil deviendra une géante rouge et soufflera notre atmosphère, rendant la vie impossible sur Terre. Si cela se produit, notre planète pourrait alors connaître le destin d'une comète, à l'image de GJ 436b.

Référence : **David Ehrenreich, Vincent Bourrier, P. J. Wheatley, A. Lecavelier des Etangs, G. Hébrard, Stéphane Udry** et al. (2015), *Nature*, 522, 459



*Image d'artiste de l'exoplanète GJ 436b.
Crédits : M. Garlick/University of Warwick*

Un trou noir sous la lentille gravitationnelle

Pratiquement toutes les galaxies possèdent en leur centre un trou noir super massif. Celui-ci engloutit la matière qui l'entoure et génère en même temps de puissants jets de gaz perpendiculaire au disque d'accrétion et dirigés dans deux directions opposées. Le mécanisme de production de ces jets de gaz, observables dans le domaine des ondes radio, parfois aussi dans le visible, les rayons X ou gamma, est encore largement inconnu. Les scientifiques savent néanmoins qu'autour du trou noir gravite du gaz très chaud et qu'à cet endroit il règne vraisemblablement de très forts champs magnétiques qui accélèrent les particules en direction de l'espace, le long des jets.

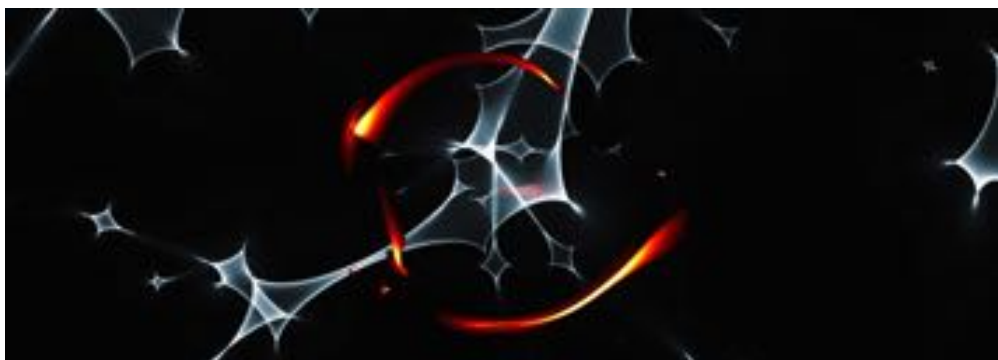
Trop lointaine et trop petite, cette «machinerie centrale» ne peut être observée directement par les astronomes. Pour tenter de contourner cette difficulté, Andrii Neronov, chercheur au Département d'astronomie de la Faculté des sciences de l'UNIGE, Denys Malyshev, post-doctorant dans le même département, et Ievgen Vovk, de l'Institut de Physique Max Planck de Munich, se sont intéressés à la galaxie active PKS 1830-211 qui a la particularité d'être un blazar, c'est-à-dire un cas rare dans lequel l'un des deux jets se dirige pile en direction de la Terre, si bien que les astronomes regardent directement dans le jet, le long de l'axe longitudinal.

Le travail d'Andrii Neronov, de Denys Malyshev et d'Ievgen Vovk a consisté à rechercher des éruptions dans le domaine du rayonnement gamma dans les données fournies par le télescope LAT (Large Area Telescope) monté à bord du télescope spatial Fermi. Les astronomes ont constaté la présence d'éruption de rayons gamma ayant des facteurs de gain d'intensité très grands et variables. Selon les auteurs de l'article, les variations d'intensité des rayons gamma sont issues d'éruptions survenant au cœur du blazar. Elles seraient amplifiées par des étoiles isolées qui passeraient exactement devant la source des rayons gamma. C'est ce qui s'appelle une microlentille gravitationnelle.

Le résultat, vu depuis la Terre, est une amplification sélective, une mise en évidence temporaire du rayonnement gamma sous l'effet gravitationnel d'étoiles individuelles. Dans le cadre de cette hypothèse, les résultats des auteurs de l'article seraient cohérents avec l'existence d'une source de rayons gamma très compacte, d'une superficie de seulement quelques dizaines de milliards de kilomètres. Ceci correspond approximativement au diamètre d'un trou noir d'un milliard de masses solaires – et accessoirement aussi à celui du Système solaire. Le domaine des rayons gamma, en réalité légèrement plus grand que le trou noir lui-même, est susceptible d'être généré à proximité du trou noir et, pour ainsi dire, à la base du jet.

Si le lieu d'origine semble se préciser, le mécanisme de production du rayonnement gamma est, quant à lui, toujours inexplicé. D'après la théorie courante, le trou noir et le disque de gaz seraient entourés par un fort champ magnétique dans lequel les particules comme les électrons sont accélérées à une vitesse proche de celle de la lumière. Ces particules entrent alors en collision avec des grains de lumière (photons) et leur transfèrent tant d'énergie qu'elles deviennent des rayons X ou gamma.

Référence : **Andrii Neronov, Denys Malyshev, I. Vovk** (2015), *Nature Physics*, 11, 664



Simulation de la lentille gravitationnelle qui a amplifié PKS 1830-211
Crédits : A. Neronov

De quoi est fait l'Univers ?

Les galaxies sont formées par la matière ordinaire qui se concentre, puis refroidit. Afin de comprendre l'origine de cette formation, il était donc primordial de découvrir sous quelle forme et à quel endroit se trouve la matière ordinaire que nous ne percevons pas, appelée «baryons manquants». Pour ce faire, les astrophysiciens de l'UNIGE et de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) se sont intéressés à Abell 2744, un amas de galaxies massif présentant une répartition complexe de matière noire et lumineuse en son centre. Ils ont observé cet amas avec le télescope spatial XMM, capable de détecter la signature de gaz très chauds grâce à sa sensibilité aux rayons X.

Les relevés de galaxies à grandes échelles ont montré que la répartition de la matière ordinaire ne se fait pas de manière homogène dans l'Univers. A la place, la matière se concentre sous l'action de la gravité en des structures filamenteuses, formant un réseau de nœuds et de liens appelé la «toile cosmique». La structure soumise à la force gravitationnelle la plus élevée forme un nœud à l'endroit où la densité de la matière est importante, à l'image d'Abell 2744. Comparables aux réseaux neuronaux, ces nœuds sont ensuite reliés les uns aux autres par des filaments, là où les chercheurs ont identifié la présence de gaz, représentant les baryons manquants. Les astrophysiciens ont pointé XMM sur les zones dans lesquelles ils soupçonnaient la présence de filaments, et donc de structures de gaz chaud à 10 millions de degrés. Pour la première fois, ils ont été capables de mesurer la température et la densité de ces objets et ont constaté que cela correspondait aux prévisions des modèles numériques. C'est pourquoi l'on pense à présent savoir sous quelle forme se trouve la matière ordinaire manquante.

Cette recherche est donc une validation très importante des modèles de formation des galaxies dans l'Univers. Il reste à vérifier que cette découverte des baryons manquants d'Abell 2744 se généralise à l'Univers entier. Il s'agira d'étudier en détails ces régions filamenteuses, mesurer leur distribution de température et les divers atomes qui les composent, afin de comprendre combien il y a d'éléments lourds dans l'Univers. En effet, si les chercheurs parviennent à mesurer ces atomes dans les filaments, ils pourront estimer la quantité de noyaux lourds formés par les étoiles depuis l'origine de l'Univers. Afin de pouvoir approfondir ces recherches, un télescope est actuellement développé par l'Agence spatiale européenne (ESA). La Suisse et les chercheurs de l'UNIGE sont particulièrement impliqués dans ce projet. Nommé Athena, le télescope devrait être opérationnel au milieu des années 2020.

Référence : **Dominique Eckert**, M. Jauzac, H. Shan, J.-P. Kneib, T. Erben, H. Israel, E. Jullo, M. Klein, R. Massey, J. Richard, **Céline Tchernin** (2015), *Nature*, 528, 105



Amas de galaxies dans la trame cosmique.

Crédits : K. Dolag, Universitäts-Sternwarte München, Ludwig-Maximilians-Universität München, Germany

L'après Big Bang se dévoile

La matière «normale» de l'Univers primordial, c'est-à-dire vieux de 14 milliards d'années, se trouve majoritairement sous forme de gaz. Les étoiles naissent de la concentration de ce gaz et s'agrègent pour constituer les premières galaxies. Le rayonnement UV émis par les étoiles contient de nombreux photons ionisants. C'est pourquoi les scientifiques soupçonnaient que les galaxies étaient responsables de la réionisation de l'Univers. Toutefois, pour pouvoir avoir un impact sur la réionisation cosmique, elles devaient «expulser» ces photons qui sont facilement absorbés. Mais en vingt ans de recherche, les chercheurs n'avaient encore jamais trouvé de galaxie capable de le faire.

Professeur au Département d'astronomie de la Faculté des sciences, Daniel Schaerer et une équipe internationale ont dès lors posé comme hypothèse qu'il fallait observer des galaxies «petits pois». Découvertes en 2007, elles constituent une classe spéciale et rare dans l'Univers proche. Très compactes, elles produiraient des explosions ou vents suffisamment puissants pour «expulser» des photons ionisants. Yuri Izotov, de l'Académie nationale des sciences d'Ukraine et premier auteur de l'étude, a consulté le Sloan Survey – un catalogue de plus d'un million de galaxies. De ce million, les chercheurs ont réussi à identifier cinq mille galaxies correspondant aux critères théorisés, à savoir suffisamment concentrées et émettant des flux de rayonnements UV très puissants. Cinq d'entre elles ont été choisies pour l'expérience.

En utilisant le télescope spatial Hubble, qui détecte les rayonnements UV, les chercheurs de l'UNIGE ont pu observer qu'effectivement la galaxie petit pois J0925, située à trois milliards d'années-lumière, expulse bel et bien des photons ionisants et ce, avec une force sans précédent. Cette découverte capitale permettrait dès lors d'expliquer la réionisation de l'Univers et confirmerait l'hypothèse des astronomes contemporains. Elle sera étoffée par d'autres observations avec Hubble, afin de mieux comprendre la mécanique «d'expulsion» des photons et de catégoriser quel type spécifique de galaxies permet cette réionisation. Anne Verhamme, chercheuse à l'UNIGE, a également relevé que cette galaxie petits pois dévoile une signature spectrale très particulière. Son spectre Lyman-alpha, c'est-à-dire l'une des raies d'hydrogène qu'elle produit, est beaucoup plus étroit et puissant que chez les autres galaxies, confirmant ses prédictions théoriques. Cette observation permet dès lors de mettre en place une méthode plus efficace dans la recherche de galaxies responsables de la réionisation cosmique il y a 13 à 14 milliards d'années.

Ces découvertes constituent une avancée considérable dans l'étude de l'Univers primordial. Toutefois, la technologie actuelle ne donne actuellement qu'un premier aperçu des galaxies situées dans le premier milliard d'années de l'Univers. Le nouveau télescope spatial James Webb, dont le lancement est prévu en 2018, doit révolutionner le domaine. Il permettra de découvrir et de caractériser en détail les premières galaxies et les sources de la réionisation. Inconnu jusqu'alors, l'Univers primitif se dévoile peu à peu.

Référence : Y.I. Izotov, I. Orlitová, **Daniel Schaerer**, T.X. Thuan, **Anne Verhamme** et al. (2016), Nature, 529, 178

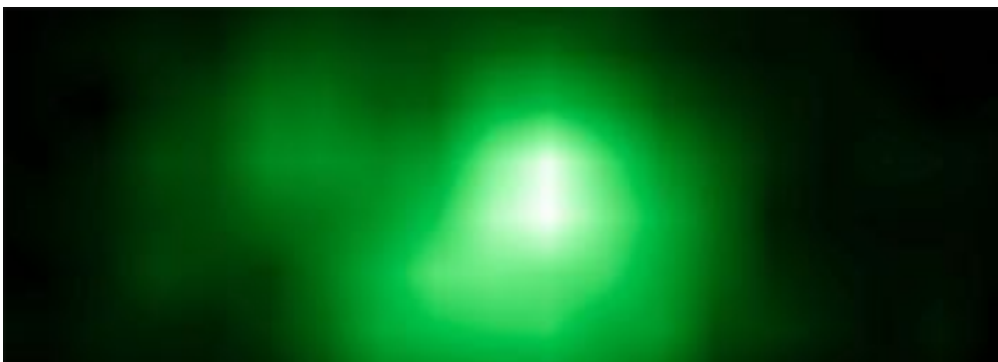


Image de la galaxie «petit pois» compacte J0925 prise avec le télescope spatial Hubble. Le diamètre de la galaxie est d'environ 6000 années-lumière. La galaxie est donc à peu près 20 fois plus petite que notre galaxie, la Voie Lactée.

Crédits : Ivana Orlitová, Astronomical Institute, Czech Academy of Sciences, Prague



Site du Very Large Telescope à Cerro Paranal (Chili)



Trois antennes du projet ALMA (Atacama Large Millimetric Array)



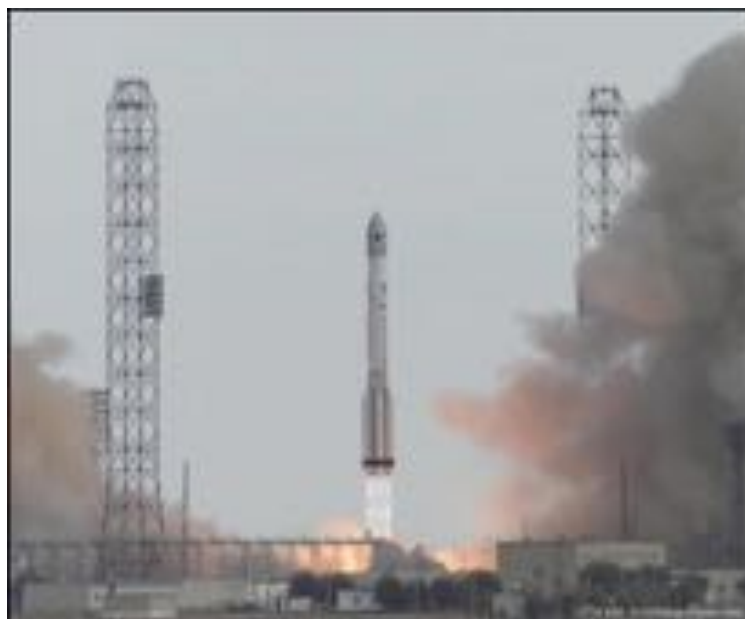
Le satellite Gaia et la Voie Lactée (montage)



Le miroir de 120 cm du télescope Euler (Chili)



Lors de l'Assemblée Générale de juin 2015



Le lancement du satellite Integral le 17 octobre 2002