



# L'astronomie dans le monde

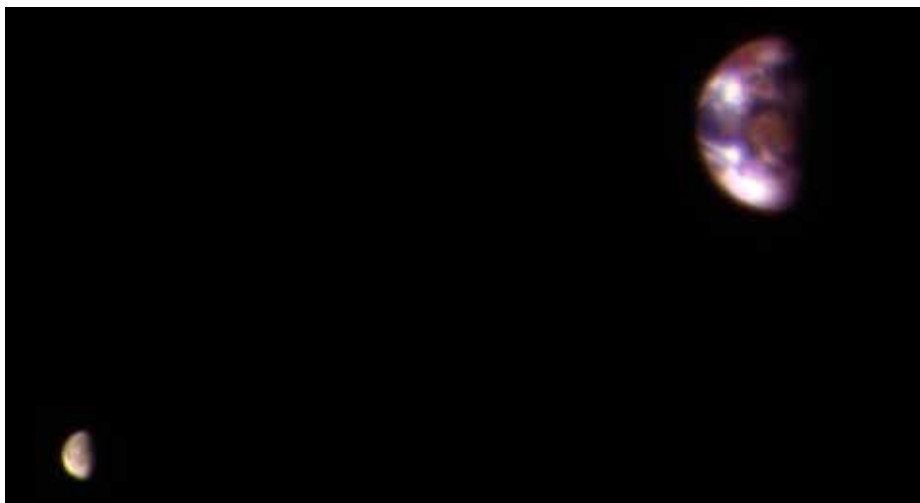
ESO/VLT

## *La Terre et la Lune vues depuis Mars*

*L'image ci-dessous montre le système Terre-Lune vu depuis l'orbite martienne du MRO (Mars Reconnaissance Orbiter). Données obtenues le 20 novembre par la caméra HiRISE d'une distance de 205 millions de kilomètres. Les meilleures images extraites d'une série de clichés pris en rouge, vert et bleu ont été traitées séparément pour amoindrir le contraste entre les deux astres. La Lune est en effet beaucoup plus sombre que la Terre. Les couleurs correspondent aux images satellite Landsat*

*dans lesquelles la végétation apparaît en rouge. Ainsi l'Asie du sud-est est la tache rouge au-dessus de l'image. L'Australie figure au centre. L'Antarctique est la tache blanche en bas à gauche. Les autres régions blanches sont des nuages.*

*Ces images ont été acquises aux fins de calibration pour la caméra HiRISE du MRO. La réflectivité de la Lune est en effet très bien connue et peut servir de référence. (NASA/JPL/MRO)*



## ***Pôle nord de Mars***

Une mosaïque de la calotte polaire boréale de Mars a été générée à partir d'images réalisées au cours de 32 passages de la sonde Mars Express de l'ESA, entre 2004 et 2010. L'image couvre un total d'environ un million de kilomètres carrés.

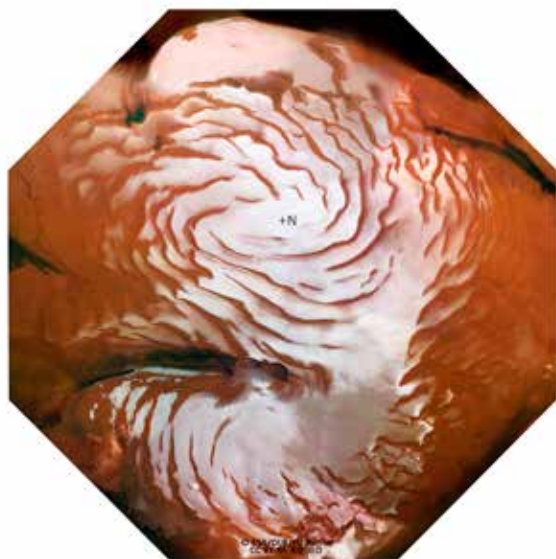
La calotte polaire est constituée de glace d'eau. Elle est permanente mais, en hiver, comme maintenant au début de 2017, la température est si froide que le tiers du gaz carbonique de l'atmosphère s'y précipite, formant une couche additionnelle d'un mètre d'épaisseur. En été ce puits de carbone temporaire se vide, tout le dioxyde de carbone se vaporise et retourne dans l'atmosphère.

On pense que les vents violents soufflant depuis les hauteurs du centre vers la périphérie et déviés par l'effet de Coriolis – le même effet qui fait tourner les cyclones sur Terre – ont

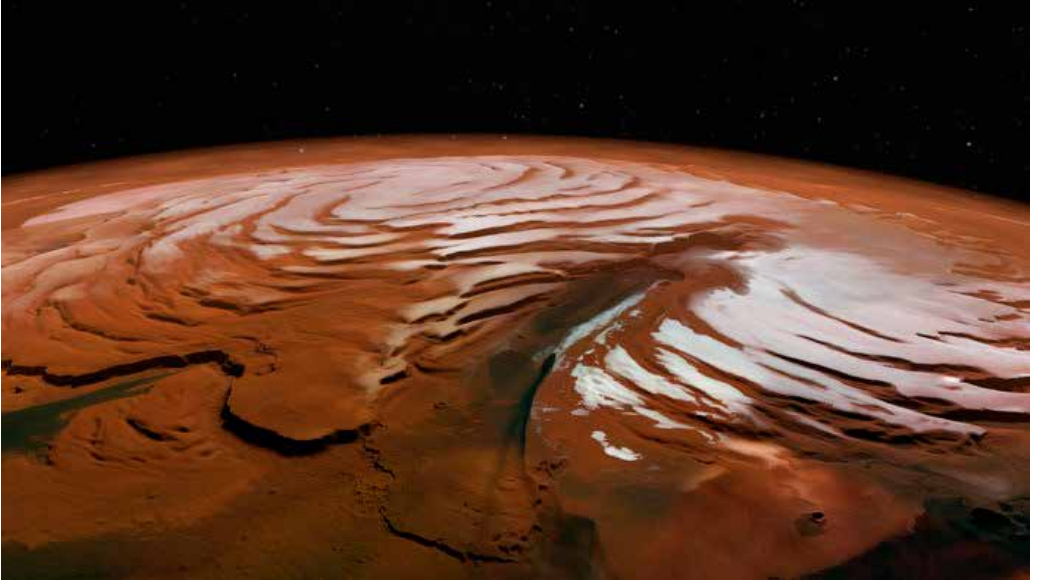
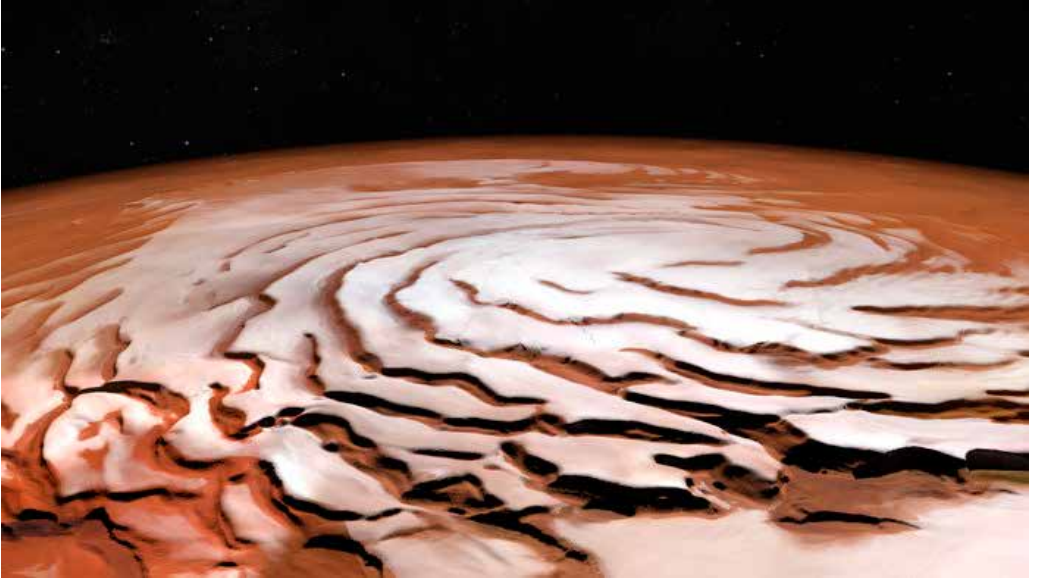
façonné la calotte dans ces spirales concentriques de glace et de poussière.

Une marque caractéristique de la calotte est Chasma Boreale, une tranchée de 2 kilomètres de profondeur et 500 de longueur qui la traverse dans son entièreté. Ce chasme est probablement très ancien, datant d'avant les couches de glaces, et il doit s'approfondir au fur et à mesure que s'accumulent des dépôts de glace de part et d'autre.

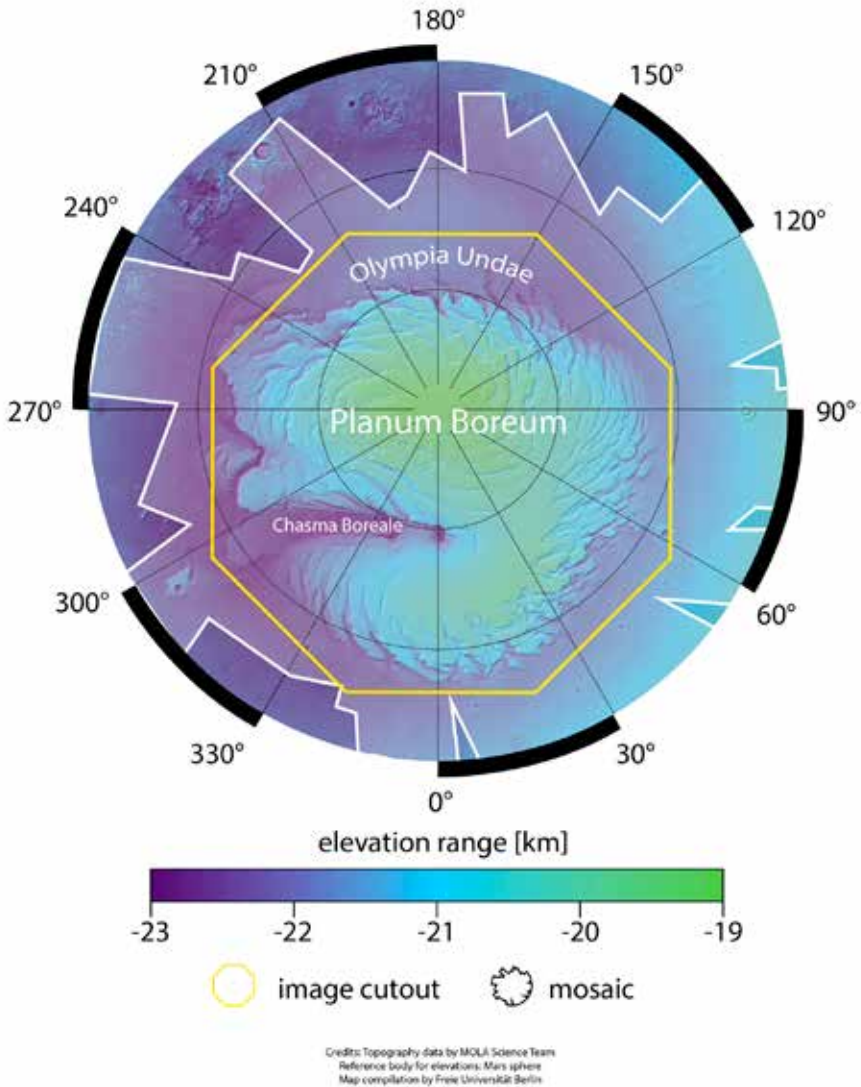
Les observations radar de Mars Express et du Mars Reconnaissance Orbiter indiquent que la calotte est faite d'une superposition de couches de glace et de poussière sur une épaisseur d'environ deux kilomètres. Cette structure témoigne des modifications du climat martien au gré des variations de l'inclinaison de son équateur et de l'excentricité de son orbite au long de centaines de milliers d'années.



***Mosaïque de la calotte polaire nord de Mars. (ESA/DLR/FU Berlin)***



*Deux perspectives de la calotte polaire nord de Mars. Ces vues sont basées sur des images de Mars Express ainsi que sur l'altimétrie obtenue par MOLA (Mars Orbiter Laser Altimeter) de la sonde Mars Global Surveyor de la NASA.  
(ESA/DLR/FU Berlin ; NASA MGS MOLA Science Team)*



*Description de la mosaïque s'étendant au nord de la latitude 78°. Le contour jaune indique la zone reprise dans les images ci-jointes. Les contours blancs délimitent la surface couverte par les images individuelles obtenues au cours des multiples orbites du 11 décembre 2004 au 17 mai 2010. La projection est stéréographique et les altitudes indiquées sont comptées à partir d'une sphère de référence.  
(NASA MGS MOLA Science Team)*

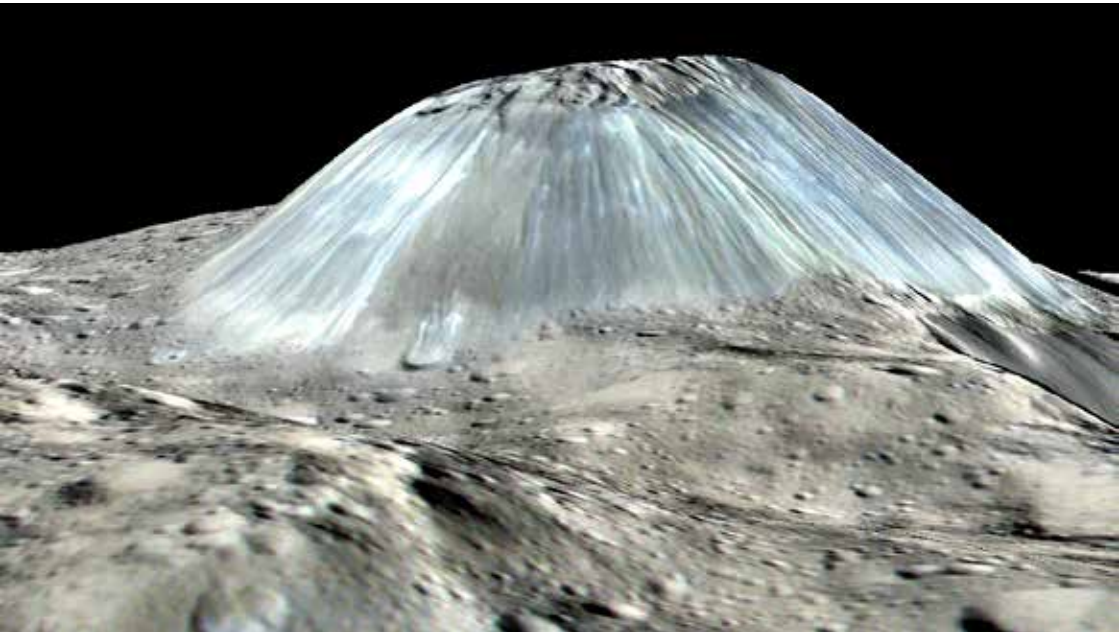
## Cérès

Ahuna Mons est le seul cryo-volcan sur Cérès. Cette montagne de 4 kilomètres découverte par la sonde Dawn en 2015 est non seulement solitaire, mais elle est très curieuse, avec des pentes abruptes et des contours bien définis. Ce sont des signes qui habituellement témoignent de la jeunesse d'un relief quand l'érosion peut agir. Contrairement à notre planète, Cérès n'a pas d'atmosphère, pas de vent, pas de pluie, pas de rivières, mais les scientifiques pensent qu'il y a quand même un facteur important d'érosion : la relaxation visqueuse. De nombreux solides, si on leur en laisse le temps, finissent par fluer. Ainsi un bloc de miel froid laissé à lui-même finira par s'aplatir et disparaître en tant que bloc. C'est la relaxation visqueuse qui explique le mouvement des glaciers sur notre planète. Les volcans terrestres, faits de roches, ne subissent pas la relaxation, mais les cryo-volcans, composés de glace, y sont sensibles comme nos glaciers, et ils peuvent disparaître en quelques millions d'années.

Le cryo-volcan de Cérès est beaucoup plus proche du Soleil que les autres cryo-volcans du Système solaire. Cela contribue à un fluage plus rapide.

Les astronomes pensent maintenant qu'il a pu y avoir d'autres cryo-volcans sur Cérès il y a des millions ou des milliards d'années mais qu'ils se sont affaissés les uns après les autres ne laissant plus aucune trace de leur existence. Pour tester cette hypothèse, des modèles numériques ont été construits avec les dimensions d'Ahuna Mons et comportant différentes proportions de glace d'eau. Si celle-ci dépasse 40%, on trouve que le volcan s'abaisse de 10 à 50 mètres par million d'années, ce qui le fait disparaître en quelques centaines de millions

*Vue en perspective d'Ahuna Mons. Les élévations ont été exagérées d'un facteur deux. Composite en couleurs augmentées créé à partir d'images obtenues par Dawn aux longueurs d'onde de 440, 750 et 960 nanomètres en août 2016 alors que la sonde se trouvait en orbite basse, à 385 kilomètres d'altitude. (NASA/JPL-Caltech/UCLA/MPS/DLR/IDA/PSI)*



d'années. Ahuna Mons n'est probablement pas plus vieux que 200 millions d'années et n'a pas eu le temps de beaucoup se déformer.

Les astronomes tentent maintenant d'identifier sur Cérès l'un ou l'autre dôme qui pourrait révéler un ancien cryo-volcan non encore complètement disparu ce qui permettrait de mieux tester l'hypothèse de la relaxation visqueuse.

## ***Alpha Centauri***

*Basé sur un communiqué ESO*

L'ESO a signé un accord avec Breakthrough Initiatives visant à adapter l'instrumentation du Very Large Telescope de l'Observatoire Paranal au Chili à la recherche de planètes au sein du système stellaire le plus proche, celui d'Alpha Centauri.

Breakthrough Initiatives est un programme d'exploration scientifique et technologique conçu en 2015 par l'investisseur Internet et philanthrope scientifique Yuri Milner dans le but d'explorer l'Univers, de rechercher les preuves scientifiques de l'existence de vie extraterrestre et d'encourager le débat public à l'échelle planétaire. Breakthrough Starshot est un programme de recherche et d'ingénierie doté de 100 millions de dollars, visant à valider le concept d'une nouvelle technologie :

***À l'avant-plan de cette image figure le Very Large Telescope (VLT) de l'ESO installé à l'Observatoire de Paranal au Chili. Le fond du ciel est constellé de milliers d'étoiles, parmi lesquelles Alpha Centauri, le système stellaire le plus proche de la Terre. Les planètes d'Alpha Centauri pourraient constituer les cibles de missions spatiales avec des sondes miniatures lancées dans le cadre de l'initiative Breakthrough Starshot.  
(Y. Beletsky (LCO)/ESO)***





*Alpha Centauri AB et son compagnon distant et peu lumineux Proxima Centauri.  
(ESO/B. Tafreshi (twanight.org)/Digitized Sky Survey 2 ; Davide De Martin/Mahdi Zamani)*

un vol spatial inhabité et ultra-léger s'effectuant à 20% de la vitesse de la lumière, ce qui constituerait le premier pas vers une mission de survol d'Alpha Centauri en l'espace d'une génération.

Ces planètes pourraient constituer les cibles d'éventuelles futures missions spatiales avec des sondes miniatures lancées dans le cadre de l'initiative Breakthrough Starshot.

L'accord avec l'ESO prévoit le financement des modifications à apporter à l'instrument VISIR (Imageur et Spectromètre du VLT dans l'infrarouge moyen) sur le Very Large Telescope (VLT) de l'ESO, afin d'augmenter considérablement sa capacité de détection de planètes habitables autour d'Alpha Centauri. En outre, l'accord inclut le temps de télescope nécessaire pour mener un programme de recherche approfondi en 2019.

La découverte en 2016 d'une planète baptisée Proxima b autour de Proxima Centauri, l'étoile la moins brillante des trois étoiles qui composent le système Alpha Centauri, donne une impulsion supplémentaire à cette quête.

Détecter une planète habitable constitue un énorme challenge en raison de la différence de brillance entre l'étoile hôte du système planétaire d'une part et les planètes d'autre part. Effectuer les observations dans l'infrarouge moyen, où l'émission thermique de la planète en orbite réduit considérablement l'écart de luminosité entre cette planète et son étoile hôte, facilite cette tâche. Toutefois, même dans l'infrarouge moyen, l'étoile affiche une luminosité des millions de fois supérieure à celle des planètes à détecter. S'ensuit la néces-

sité d'employer une technique permettant de réduire l'éblouissement par la lumière stellaire.

L'instrument VISIR actuellement installé sur le VLT et qui opère dans l'infrarouge moyen sera capable d'une telle performance si certaines modifications lui sont apportées : l'installation d'un système d'optique adaptative permettra d'augmenter considérablement la qualité d'image ; l'emploi d'une technique baptisée coronagraphie permettra de diminuer l'intensité de la lumière stellaire et donc de repérer les signes de l'existence de potentielles planètes de type Terre. Breakthrough Initiatives financera en grande partie les technologies nécessaires ainsi que les coûts de développement d'une telle expérience. L'ESO fournira les capacités ainsi que le temps d'observation requis.

Le nouveau matériel comportera entre autres un nouveau coronographe développé par les universités de Liège et d'Uppsala.

La détection suivie de l'étude de planètes potentiellement habitables en orbite autour d'autres étoiles constituera l'une des principales missions scientifiques du futur Extrêmement Grand Télescope Européen (E-ELT), le pouvoir collecteur du VLT l'obligeant à se limiter à notre plus proche voisine.

## Vortex

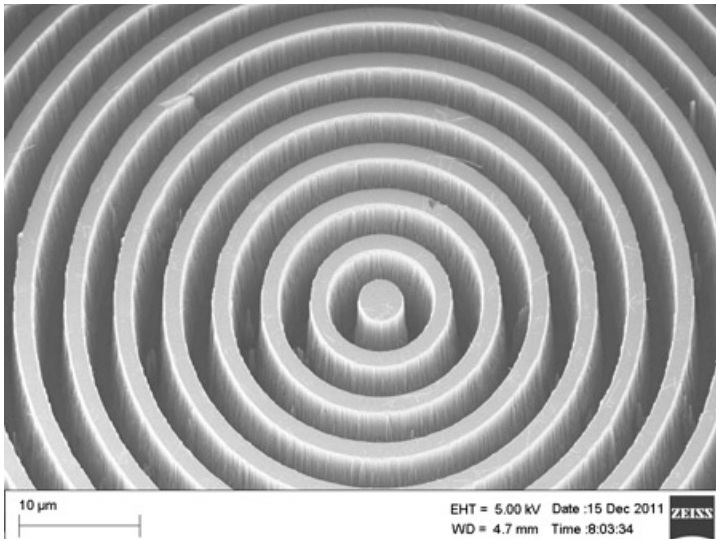
*Basé sur un communiqué ULg*

L'université de Liège est concernée par l'accord conclu par l'ESO et Breakthrough Initiatives. En effet, l'ULg va développer avec l'université d'Uppsala (Suède) un nouveau coronographe qui, apposé sur l'instrument VISIR du VLT, permettra de réduire la lumière de l'étoile observée, facilitant ainsi la détection de planètes situées dans la zone habitable. Plus spécifiquement, Olivier Absil, astronome à l'ULg et chercheur qualifié au FNRS, a la responsabilité de fournir un composant-clé : une petite pastille (à peine 1 cm de diamètre) transparente en diamant synthétique sur laquelle est gravé un micro-réseau produisant un effet de « vortex optique ».

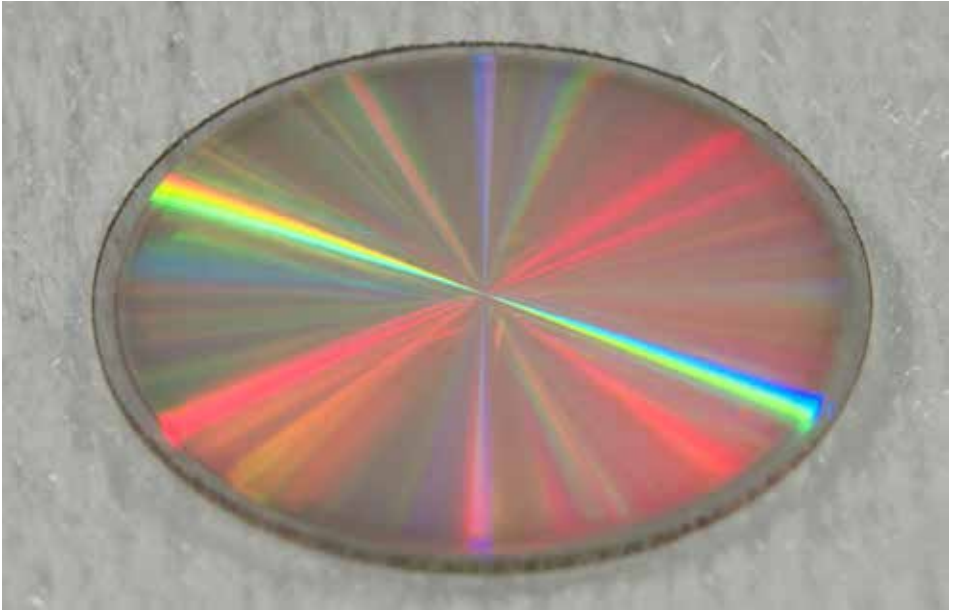
Ce dispositif n'est pas une première pour l'ULg. Des coronographes similaires développés à Liège équipent déjà trois des plus grands télescopes du monde : le télescope Keck à Hawaii, le Large Binocular Telescope en Arizona et, déjà, le VLT au Chili. Cependant la nouvelle version développée pour VISIR dans le cadre de cet accord avec Breakthrough Initiatives sera d'un niveau de performance inégalé.

Ces développements technologiques sont menés dans le cadre de l'ERC Starting Grant octroyé par le Conseil européen de la Recherche à Olivier Absil pour son

***Zoom (au microscope électronique) sur la partie centrale du masque de phase vortex actuellement installé au VLT sur l'instrument VISIR, livré par l'ULg en 2012. Dans le cadre du projet Breakthrough, l'ULg va en livrer une nouvelle version nettement plus performante – le composant livré en 2012 était un premier essai aux performances limitées. (ULg)***







projet de développement de vortex optiques en diamant synthétique afin d'améliorer la détection d'exoplanètes.

Photographier directement les exoplanètes est une tâche particulièrement complexe, on peut la comparer à la détection depuis la Belgique d'une luciole volant autour du phare du port d'Athènes ! Des dispositifs spécifiques, appelés coronographes, doivent être utilisés pour atténuer la lumière d'une étoile et révéler la faible lumière provenant de planètes qui l'entourent. Le projet Vortex d'Olivier Absil consiste précisément à développer de nouveaux types de coronographes basés sur un effet de vortex (tourbillon) optique. En collaboration avec ses collègues d'Uppsala, Olivier Absil grave des micro-réseaux sur de petites pastilles de diamant synthétique afin de créer de tels vortex dans le domaine de l'infrarouge. Ces mini-composants optiques s'avèrent essentiels pour voir dans l'infiniment grand. Disposés sur les télescopes géants et les télescopes spatiaux, ils

***Exemple de masque vortex à l'œil nu. Le composant fait 1 cm de diamètre. Avec ses reflets irisés, il ressemble un peu à un mini-CD transparent. (ULg)***

permettront de détecter et de caractériser des exoplanètes potentiellement habitables.

Avec Michaël Gillon et Olivier Absil, l'université de Liège accueille deux chercheurs à la pointe dans la recherche des exoplanètes. Leurs méthodes et techniques sont cependant différentes. Les travaux de Michaël Gillon se concentrent principalement sur les étoiles ultra-froides, les seules autour desquelles la technique des transits planétaires a de bonnes chances de détecter des planètes dans la zone habitable. Avec la technique d'imagerie directe par coronagraphie d'Olivier Absil, ce sont plutôt des étoiles semblables au Soleil qui sont visées, en particulier Alpha du Centaure qui pourrait être qualifié de jumeau du Soleil.

Les premiers instruments inventés pour bloquer la lumière gênante d'une étoile étaient des coronographes qui utilisaient un petit masque placé à un foyer intermédiaire. Vortex utilise une tout autre technique qui fait interférer les ondes pour annuler la lumière de l'étoile. Il ne faut pas de masque, ce qui permet de prendre des images de régions plus proches de l'étoile.

L'instrument est appelé « coronographe vortex » car la lumière stellaire est centrée sur une singularité optique, un trou noir, ce qui fait penser à l'œil d'un cyclone où l'on envoi se perdre la lumière de l'étoile.

### ***Vortex au Keck***

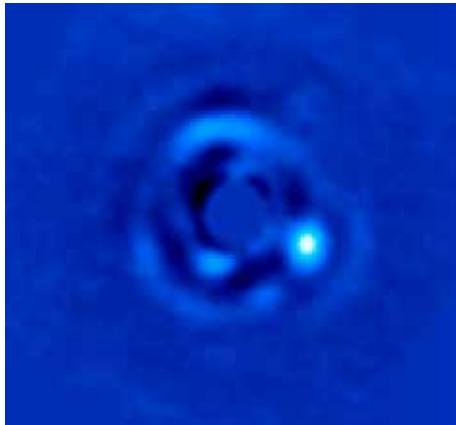
Un nouveau Vortex a été récemment installé au télescope Keck d'Hawaii sur la caméra NIRC2 (Near Infrared Camera 2). Les premières images montrent le petit compagnon d'une étoile et les anneaux de poussière autour d'une autre.

Le petit compagnon de HIP79124 est une naine brune. Le couple est séparé par 23 unités astronomiques. Il se trouve dans la région de formation stellaire de Scorpion-Centaure.

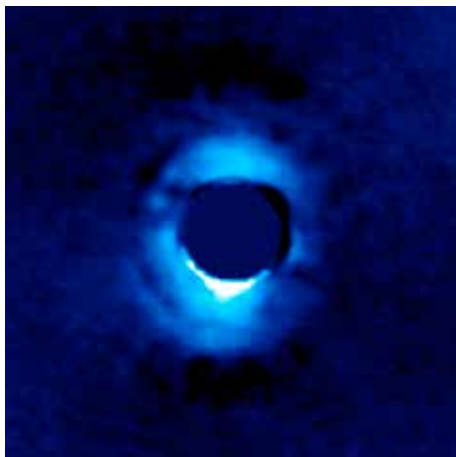
Le disque de l'étoile jeune HD141569A est composé de trois anneaux de matière proto-planétaire. L'image Vortex montre l'anneau interne. Combinées avec les données infrarouges des télescopes spatiaux Spitzer, Wise et Herschel, ces observations montrent que les anneaux sont faits de grains d'olivine, l'un des silicates les plus abondants du manteau terrestre. Ces grains sont de la taille de cailloux. Leur température est de l'ordre de 100 K, ce qui est légèrement moins froid que notre ceinture d'astéroïdes.

Ces instruments observeront beaucoup d'autres systèmes planétaires jeunes et en particulier des planètes aux alentours de la « ligne de givre », là où les molécules volatiles comme l'eau, le méthane ou le dioxyde de carbone se condensent en grains solides. On pense que cette ligne sépare la région où se forment les planètes rocheuses de celle où naissent les géantes gazeuses. Un survey des lignes de givre avec vortex devrait aider à

***La naine brune HIP 79124B.  
Le coronographe vortex a été utilisé pour  
supprimer la lumière de la compagne  
brillante, au centre de l'image.  
(NASA/JPL-Caltech)***



***Le disque proto-planétaire entourant  
HD 141569. Ici aussi, le vortex dissimule  
l'étoile et permet de distinguer l'anneau  
interne du disque. (NASA/JPL-Caltech)***



comprendre l'énigme des jupiters chaudes et des neptunes chaudes – des planètes géantes gazeuses observées très près de leur étoile. Ces planètes se forment-elles près de la ligne de givre avant de migrer vers l'intérieur du système, ou se forment-elles directement là où on les voit ?

Avec un peu de chance on pourrait observer de telles planètes en train de migrer au travers du disque proto-planétaire. Et un jour, on espère bien avoir la première image d'une planète de type terrestre, un « pale blue dot ».

## Subaru

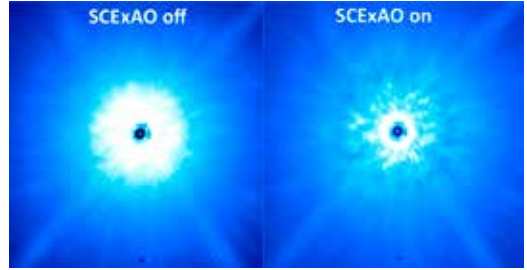
Vortex n'est pas seul dans l'imagerie des exoplanètes. Des coronographes plus conventionnels, aidés par l'optique adaptative sont toujours utilisés. Ainsi, SCExAO, un nouvel instrument destiné à voir des exoplanètes, a entamé sa carrière au télescope Subaru d'Hawaï et rejoint ainsi une série d'autres appareils avec cette spécificité.

SCExAO permet d'atteindre des planètes de masses et d'orbites analogues à celle du Système solaire et constitue une amélioration sensible sur le dernier instrument du télescope Subaru.

Les observations faites dans la bande H infrarouge (1,6 microns) du système de référence HR 8799 démontrent ce progrès. Dans cette bande, les planètes de HR8799 sont particulièrement faibles. Durant les tests, SCExAO permet de les voir toutes les quatre et ce, avec une sensibilité bien meilleure. Des tests ultérieurs en combinaison avec un nouveau spectrographe à champ intégral ont montré une qualité encore accrue et permettent de prendre des spectres des atmosphères des trois planètes intérieures.

À peine quelques nuits après l'optimisation de l'optique

*Schéma du système de HR8799 comparé avec le nôtre, de Jupiter à Neptune.  
(NRC-HIA, C. Marois, Keck Observatory)*

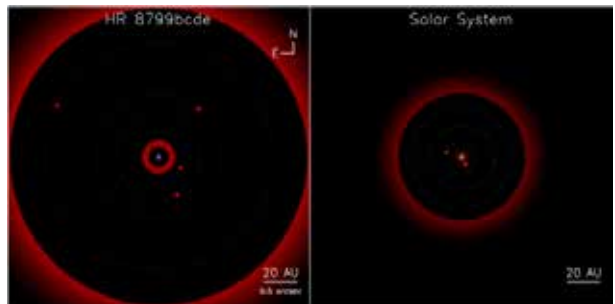


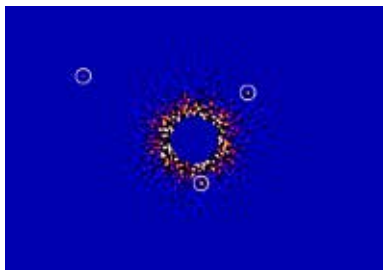
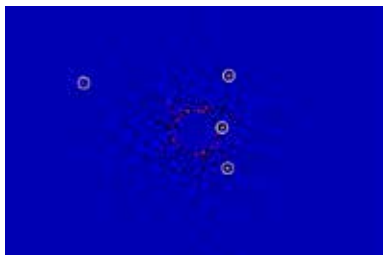
*Comparaison d'images prises avec l'ancien (HiCIAO) et le nouveau (SCExAO) systèmes de Subaru. (NAOJ)*

adaptative, SCExAO faisait sa première découverte : l'image de l'anneau de débris entourant HD 36546, une étoile de deux masses solaires dans le Taureau. Deux fois plus distant de l'étoile que ne l'est la ceinture de Kuiper du Soleil, cet anneau est constitué des restes de formation de mondes glacés.

Les mouvements analogues de HD36546 et d'autres étoiles suggèrent qu'elles sont nées ensemble il y a quelques millions d'années. Le disque de débris est ainsi l'un des plus jeunes observés à ce jour et représente un laboratoire unique pour l'étude de l'origine des planètes glacées.

De nouvelles améliorations sont planifiées à partir de cette année déjà, et devraient permettre d'obtenir l'image de planètes 10 ou 100 fois plus faibles qu'actuellement. On pourrait alors détecter celles-ci grâce à leur lumière réfléchie et non par leur émission thermique propre.





*Ci-dessus, une image des planètes de HR 8799 à 1,6 microns avec SCEXAO (en haut) comparée à une image prise avec Keck il y a 11 ans (ne montrant que 3 planètes). Le mouvement des planètes est apparent. (NAOJ)*

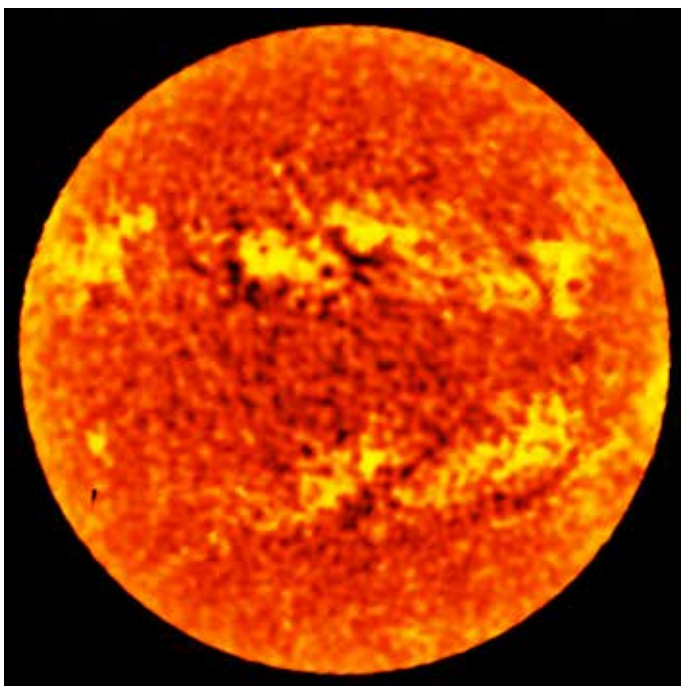
*L'intégralité du disque solaire à la longueur d'onde de 1,25 millimètre. Image obtenue avec une seule antenne d'ALMA grâce à une technique de balayage rapide. Ces cartes indiquent la distribution de température au sein de la chromosphère sur l'intégralité du disque, et ce, à faible résolution spatiale. Elles s'inscrivent donc en complément des images interférométriques détaillées. (ALMA; ESO/NAOJ/NRAO)*

## **Le Soleil avec ALMA**

*Basé sur un communiqué ESO*

La luminosité du Soleil est des milliards de fois supérieure à celle des objets qu'ALMA observe généralement. Pour cette raison, les antennes d'ALMA ont été spécialement conçues pour leur permettre d'imager le Soleil dans le moindre détail grâce à la technique de la radio-interférométrie – sans pour autant être endommagées par l'intense chaleur générée par la focalisation de la lumière solaire. Ce travail aboutit à la production d'une série d'images qui toutes témoignent du potentiel unique d'ALMA et de sa capacité à étudier notre Soleil.

Les astronomes ont observé une énorme tache solaire aux longueurs d'onde de 1,25 et 3 millimètres correspondant à deux des bandes réceptrices d'ALMA. Les images révèlent des différences de température entre les zones de la chromosphère solaire. Comprendre la source de chaleur ainsi que la dynamique de la chro-



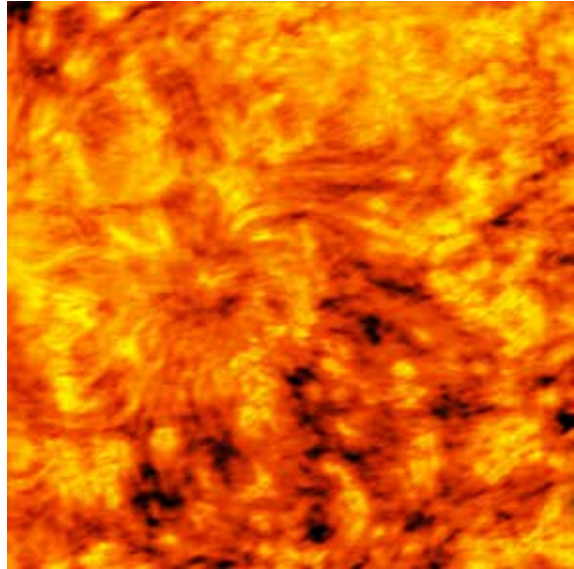
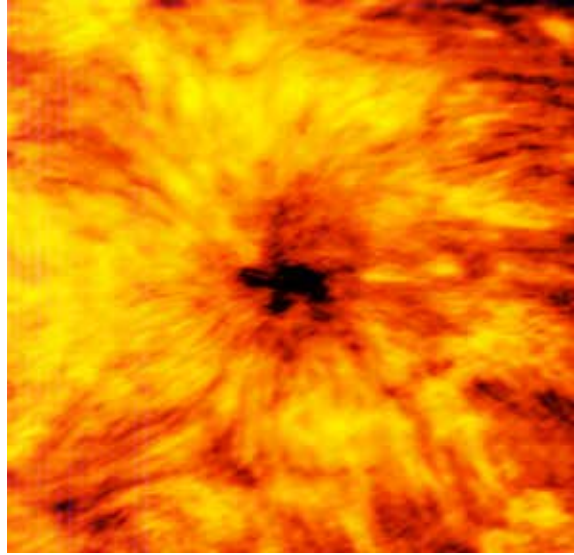
mosphère solaire constitue un objectif clé de la recherche actuelle qu'ALMA permettra d'aborder dans un avenir proche.

Les taches solaires sont des phénomènes transitoires qui se produisent en des régions où le champ magnétique du Soleil se trouve extrêmement concentré et puissant. Leur température est inférieure à celle des régions environnantes, ce qui explique leur apparence relativement sombre.

Les deux images ci-contre présentent des aspects différents en fonction de la longueur d'onde utilisée. Les longueurs d'onde plus courtes permettent de sonder le Soleil plus en profondeur. Ainsi, les images acquises à 1,25 millimètre révèlent les couches internes de la chromosphère, plus proches de la photosphère que les clichés obtenus à la longueur d'onde de 3 millimètres.

ALMA est le premier observatoire dont l'ESO est partenaire permettant d'étudier l'étoile la plus proche de la Terre, le Soleil. Tous les autres instruments de l'ESO sans exception doivent être protégés de l'intense radiation solaire afin d'éviter tout dommage. Les nouvelles capacités d'ALMA se traduiront par l'intégration d'astronomes solaires au sein de la communauté de l'ESO.

L'utilisation d'une seule et unique antenne d'ALMA a permis de cartographier l'intégralité du disque solaire à la longueur d'onde de 1,25 millimètre, grâce à une technique de balayage rapide. La précision et la rapidité d'observation permises par cette seule et unique antenne d'ALMA ont permis de dresser une carte du disque solaire en quelques minutes seulement. Ces cartes indiquent la distribution de température dans la chromosphère sur l'intégralité du disque à faible résolution spatiale. Elles s'inscrivent donc en complément des images interférométriques détaillées de chacune des régions.



*Ces clichés d'une énorme tache solaire ont été acquis par ALMA aux longueurs d'onde de 1,25 millimètre (en haut) et 3 millimètres. (ALMA; ESO/NAOJ/NRAO)*

## Le repousseur dipolaire

Basé sur un communiqué CNRS

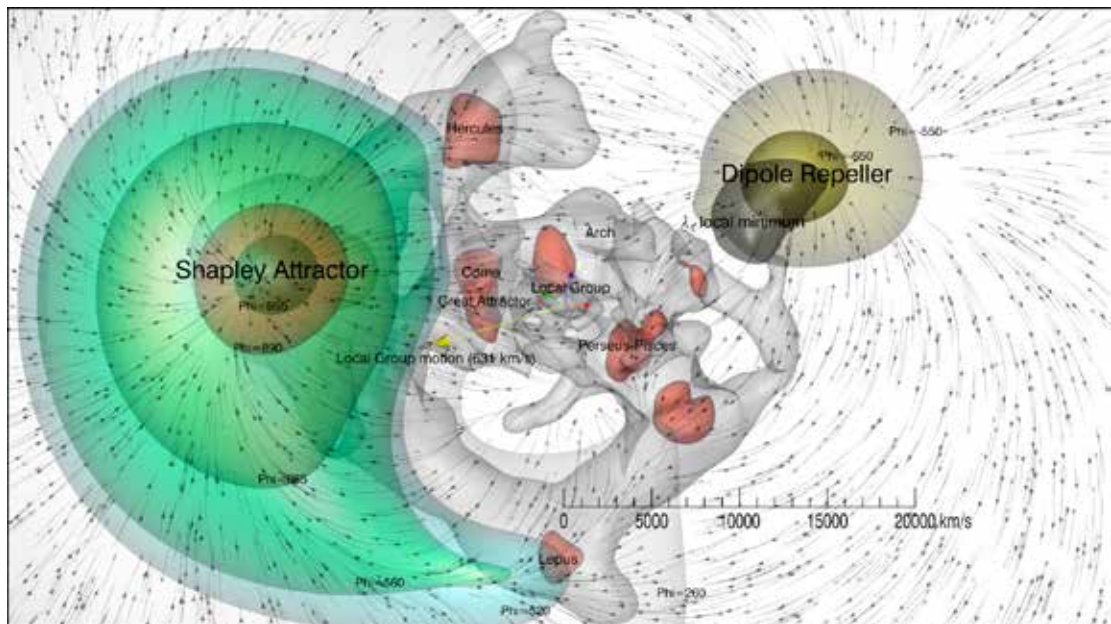
Dans notre voisinage extragalactique existe une immense région vide qui exercerait une force de répulsion sur notre galaxie, la Voie lactée. Ce « repousseur » contribue aux forces gravitationnelles qui nous font naviguer à près de 2,3 millions de km/h dans la toile cosmique, la structure suivant laquelle la matière s'organise à grande échelle, notamment sous la forme de filaments qui connectent des galaxies entre elles et les séparent des vides.

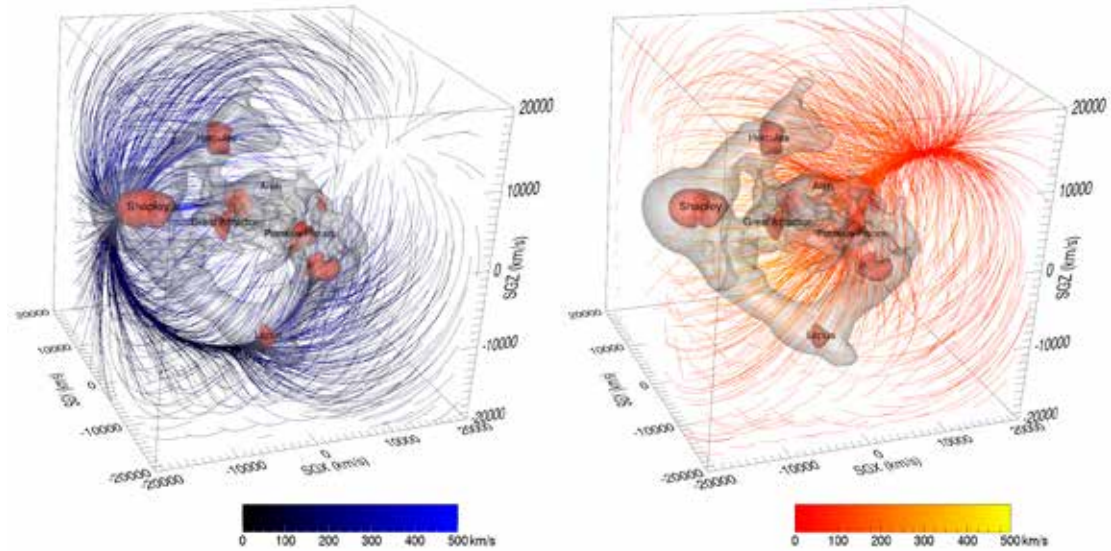
Ce mouvement de notre galaxie (et de sa compagne, la galaxie d'Andromède) était déjà connu des astrophysiciens qui en recherchaient l'origine depuis 40 ans. Pour expliquer ce déplacement, les recherches se sont d'abord portées sur la possibilité d'un excès de galaxies dans la direction générale de notre mouvement. Le suspect initial a été appelé le Grand Attracteur, une demi-douzaine d'amas riches en galaxies à une distance de 150 millions d'années-lumière. Puis, l'attention a été portée sur une entité plus importante, toujours

dans la même ligne de visée et directement derrière le Grand Attracteur : la Concentration d'amas de galaxies de Shapley, située à 600 millions d'années-lumière. Mais, au fil des ans, le débat s'est enlisé sur l'importance relative de ces deux attracteurs, ceux-ci ne suffisant pas pour expliquer notre mouvement,

*Cette cartographie des courants de matière (les flèches directionnelles) et des surfaces équipotentielles gravitationnelles (régions de l'espace « ressentant » la même attraction de gravitation – en vert et en jaune) permet, en visualisant son influence, de matérialiser la région du Dipole Repeller, ainsi que les nœuds et filaments de la toile cosmique (surfaces rouges et grises). La structure à grande échelle de notre Univers local est ainsi représentée. La flèche jaune est positionnée sur notre galaxie, la Voie lactée, et indique la direction du dipôle du fond diffus cosmologique. Cette cartographie couvre une région de notre Univers d'environ 2,5 milliards d'années-lumière de large.*

*(Y. Hoffman, D. Pomarède, R.B. Tully, H. Courtois)*





*Visualisation du flux attractif vers Shapley (en bleu) par rapport au flux répulsif engendré par le dipôle.*

d'autant qu'il ne pointe pas exactement dans la direction de Shapley comme cela devrait être le cas. L'hypothèse d'une région sous-dense, un « vide » extragalactique, est alors avancée pour élucider ce phénomène.

Obtenir une confirmation de l'observation d'un tel vide est extrêmement difficile. C'est pourquoi les chercheurs ont décidé, au lieu de regarder la répartition de la partie immergée de la masse (celle qui est visible : les galaxies), de cartographier en trois dimensions les mouvements de toute la matière (matière visible, dite aussi baryonique, et matière invisible dite noire ou plus justement : transparente).

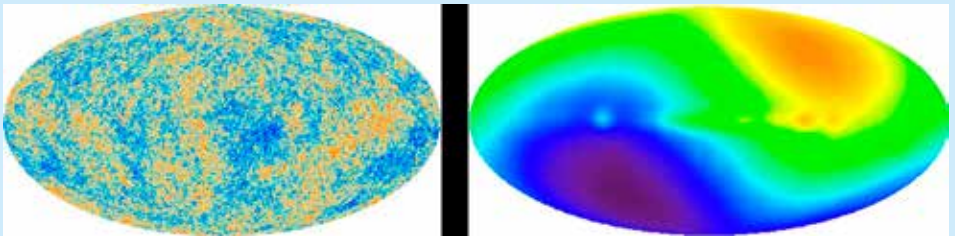
C'est grâce au rayonnement micro-onde émis il y a plus de 13 milliards d'années que le mouvement de la Voie lactée est détecté. Cette lumière nous parvient de toutes les directions mais, du fait de notre déplacement, on l'observe avec un décalage spectral vers le bleu dans la direction de notre mouvement et un décalage spectral vers le rouge dans la direction opposée. Et c'est en analysant cet effet dipolaire qu'on peut en déduire notre vitesse de

630 km/sec. L'analyse des vitesses de milliers de galaxies peuplant l'univers local a révélé le déplacement de « fleuves de matière », comme ceux qui parcourent Laniakea, notre superamas de galaxies découvert en 2014 par la même équipe. Ces fleuves sont une conséquence directe de la distribution de la masse totale, qui s'éloigne des régions vides et se dirige vers les régions de plus haute densité. À l'emplacement de notre galaxie les forces répulsives et attractives provenant d'entités lointaines sont d'importances comparables et on en déduit que les influences majeures à l'origine de notre mouvement sont l'attracteur Shapley et une vaste région de vide (dépourvue à la fois de matière visible et invisible), précédemment non identifiée, qu'ils ont nommée le « Dipole Repeller ». Cette découverte permet en effet d'expliquer l'origine du dipôle observé dans le rayonnement du fond diffus cosmologique, un

ingrédient essentiel du modèle standard de la cosmologie.

Les astrophysiciens savent enfin quelle voie suit notre galaxie, attirée par la lointaine concentration de masse Shapley et repoussée par le Dipole Repeller, une région faite de « rien », même pas de matière invisible, dont

finalment on ne connaît encore presque rien... C'est pourquoi les astrophysiciens préparent maintenant des relevés ultra-sensibles en optique, proche-infrarouge et radio qui permettront d'identifier les rares galaxies qui peuvent résider dans et autour d'un tel vide afin d'en approfondir notre connaissance.



### ***Qu'est-ce qu'un dipôle ?***

*Le rayonnement fossile du Big Bang est distribué de manière presque identique dans toutes les directions. En étudiant les écarts par rapport à son niveau moyen, une modulation régulière apparaît et semble indiquer que le corps noir cosmologique est un peu plus chaud vers un des hémisphères célestes que vers l'autre. On parle d'anisotropie dipolaire ou de dipôle. Pour les astrophysiciens, ce dipôle est en général facile à observer et permet de vérifier ou d'étalonner leurs détecteurs.*

*Le fond diffus cosmologique est un ingrédient essentiel du modèle standard de la cosmologie. Ce rayonnement émis quand l'Univers avait 380 000 ans est mesuré ici avec une extrême précision par le satellite européen Planck.*

*Il porte la trace des fluctuations initiales de densité ayant donné naissance aux structures actuelles (superamas, amas de galaxies, galaxies, étoiles, planètes...). L'analyse de ces fluctuations joue un rôle capital dans l'établissement du modèle standard de la cosmologie.*

*Pour obtenir la carte du fond cosmologique, il faut préalablement soustraire le dipôle observé dans ce rayonnement, représenté ici tel que mesuré par le satellite américain COBE. L'origine de ce dipôle est dû à un mouvement de 630 km/s de notre galaxie, décalant le rayonnement vers le bleu dans la direction du mouvement et vers le rouge dans la direction opposée. La découverte du Dipole Repeller permet enfin de comprendre quelle est la source de ce mouvement.*