

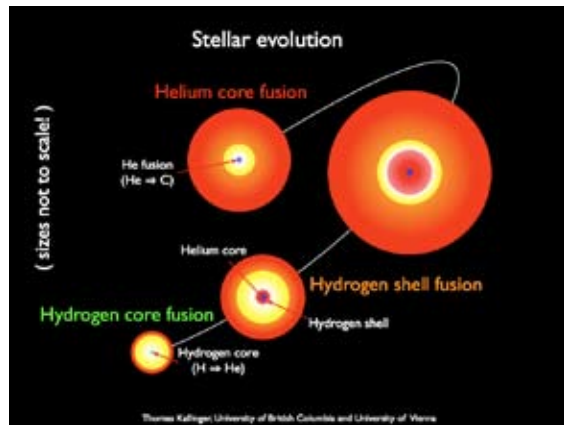
L'astronomie dans le monde

Le cœur des géantes rouges

Selon communiqués NASA et CNRS - CEA

Avec les données des satellites Kepler de la NASA et CoRoT du CNES, les astrophysiciens ont pu sonder les étoiles rouges jusqu'en leur cœur, un domaine jusqu'ici inaccessible. Pour cela ils ont utilisé la sismologie stellaire, c'est-à-dire l'analyse des très faibles variations de luminosité d'une étoile qui traduisent les oscillations de sa structure. Ils ont pu distinguer où se situent les réactions de fusion nucléaire, selon les cas au cœur même de l'étoile ou dans des couches plus externes : une découverte majeure pour la compréhension des étoiles géantes rouges car jusqu'ici rien ne permettait aux astronomes d'isoler ces deux étapes particulières de la vie d'une étoile.

Les géantes rouges représentent un stade avancé de l'évolution d'une étoile. Au bout de plusieurs milliards d'années lorsque l'hydrogène du centre d'une étoile comme le Soleil a été totalement consommé, les réactions nucléaires de fusion se déplacent vers les couches extérieures. L'étoile enfle et devient une géante rouge car l'enveloppe stellaire se refroidit en se dilatant. En même temps les régions centrales privées de source d'énergie se contractent. Lorsque le cœur de l'étoile devient suffisamment dense, l'hélium qu'il contient peut à son



L'analyse des fréquences d'oscillation peut donner des indications sur l'évolution de certaines étoiles en montrant comment le cœur passe de la fusion de l'hydrogène (en bas à gauche) à la fusion de l'hélium, avec des étapes intermédiaires de géantes rouges où l'hydrogène est brûlé dans des enveloppes en expansion. Les propriétés de la surface d'une étoile brûlant l'hélium en son cœur ou l'hydrogène dans une enveloppe sont quasiment identiques alors que leurs intérieurs sont radicalement différents. La sismologie permet de les distinguer.

(© Thomas Kallinger, University of British Columbia, University of Vienna)

tour entrer en fusion. Jusqu'ici aucun moyen ne permettait de distinguer ces deux étapes très différentes de la vie d'une étoile car, de l'extérieur, elles ne montrent pas de différences notables.

C'est en utilisant les données obtenues sur des milliers de géantes rouges pendant de longs mois que les scientifiques ont finalement percé le secret de l'âge des géantes rouges. En passant au crible les différentes variations périodiques de luminosité, ils ont pu distinguer celles qui concernent essentiellement les couches externes (les ondes acoustiques) de celles qui sondent directement le cœur de l'étoile (les ondes de gravité). Ils ont bénéficié du couplage des deux types d'ondes qui permet de rapporter à la surface l'information du cœur de l'étoile. Dans le Soleil, ce couplage d'une oscillation acoustique à une oscillation de gravité est beaucoup moins efficace, et c'est pourquoi la détection des modes de gravité solaire est extrêmement difficile.

Les acquis de la sismologie stellaire exploitaient déjà la finesse d'analyse des satellites Kepler et CoRoT. Cette découverte bénéficie en plus de la très longue durée d'observation que seul l'espace permet et qui est nécessaire pour distinguer de minuscules écarts de fréquence d'oscillation. Ces petits écarts mesurent directement les propriétés des différents types d'oscillation et permettent de distinguer les deux groupes de géantes rouges. Pour une même fréquence caractéristique des ondes acoustiques, c'est-à-dire pour une même structuration des couches externes et une même apparence (luminosité, température effective), une étoile qui brûle l'hélium de son cœur présente une période caractéristique des modes gravité bien plus grande.

*Impression d'artiste montrant les tailles relatives des étoiles du système HD181068.
(© Science/AAAS)*

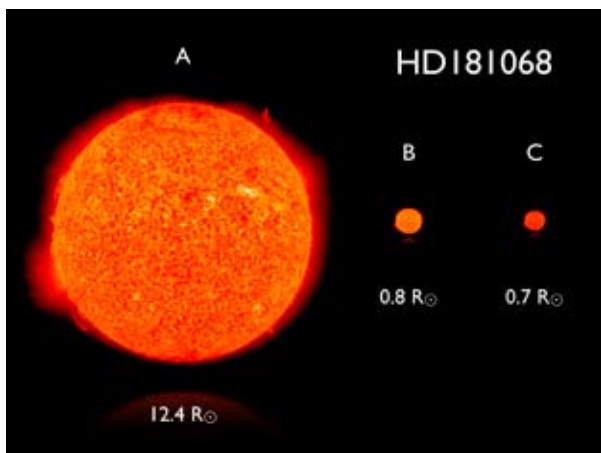
Sœurs du Soleil

Les résultats de l'analyse sismologique de 500 étoiles semblables au Soleil par le télescope spatial Kepler ont été publiés. Avant cette analyse, seules 25 étoiles semblables au Soleil bénéficiaient de telles données. Cet accroissement spectaculaire de l'échantillon constitue un pas significatif en astrophysique stellaire.

La comparaison des modèles théoriques avec les résultats obtenus au cours de sept mois d'observation montre un bon accord pour les diamètres, mais pas pour les masses. Les étoiles étudiées avec Kepler paraissent un peu trop légères, ce qui devrait conduire à une révision des modèles et à une meilleure connaissance de notre étoile et de ses sœurs.

Système triple

Une troisième étude réalisée avec Kepler concerne le système triple de HD 181068. L'étoile principale A, une géante rouge, a pour compagnes deux naines rouges, B et C. Le couple B et C est très serré. Ces naines tournent l'une autour de l'autre en moins d'un jour et autour de A en 57 jours. Tout cela mène à une série d'éclipses peu habituelles entre A et BC et entre B et C. La géométrie du système permettra ici aussi de tester les modèles stellaires théoriques, tandis que l'observation à long terme des éclipses permettra de valider



les modèles d'évolution dynamique de tels systèmes.

Les données d'astrosismologie se révèlent ici aussi très intéressantes. À la grande surprise des astronomes, on n'observe pas d'oscillations de l'étoile primaire. Il semble qu'elles soient contrariées par les interactions gravitationnelles avec le couple BC.

Messenger

La sonde Messenger a commencé sa mission d'un an autour de Mercure. En 700 orbites ses instruments analyseront la planète et son environnement sous tous les aspects : géochimie, géophysique, histoire géologique, atmosphère, magnétosphère et environnement de plasma. Cette première perspective globale de la petite planète inférieure coïncide avec la montée en puissance de l'activité solaire, et promet d'être passionnante, Mercure étant le siège du complexe atmosphère-magnétosphère le plus dynamique du système solaire.

Les douze mois d'opération de Messenger ne couvriront que deux « jours » pour Mercure. Un jour mercurien dure en effet 176 jours terrestres, soit deux années mercuriennes, ce qui s'explique par une période sidérale de rota-

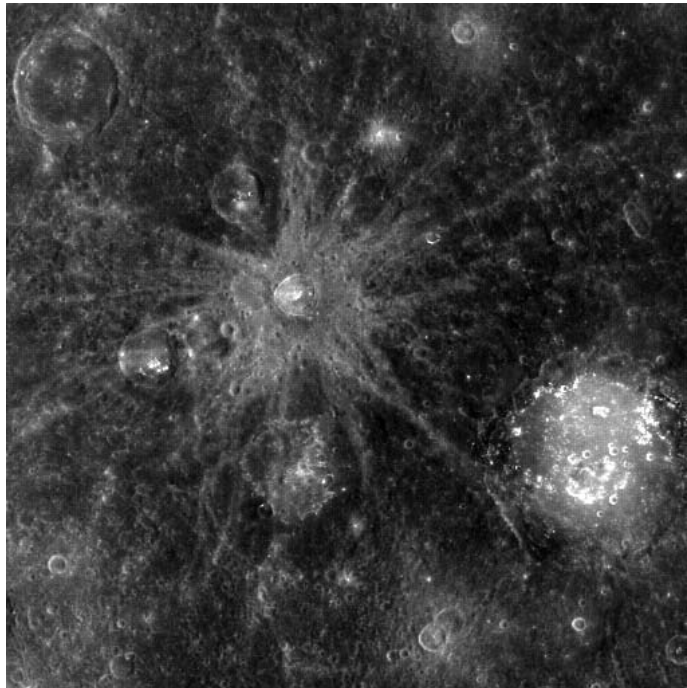
tion de 56 jours. Après une révolution autour du Soleil, Mercure s'est exactement tourné de 180°.

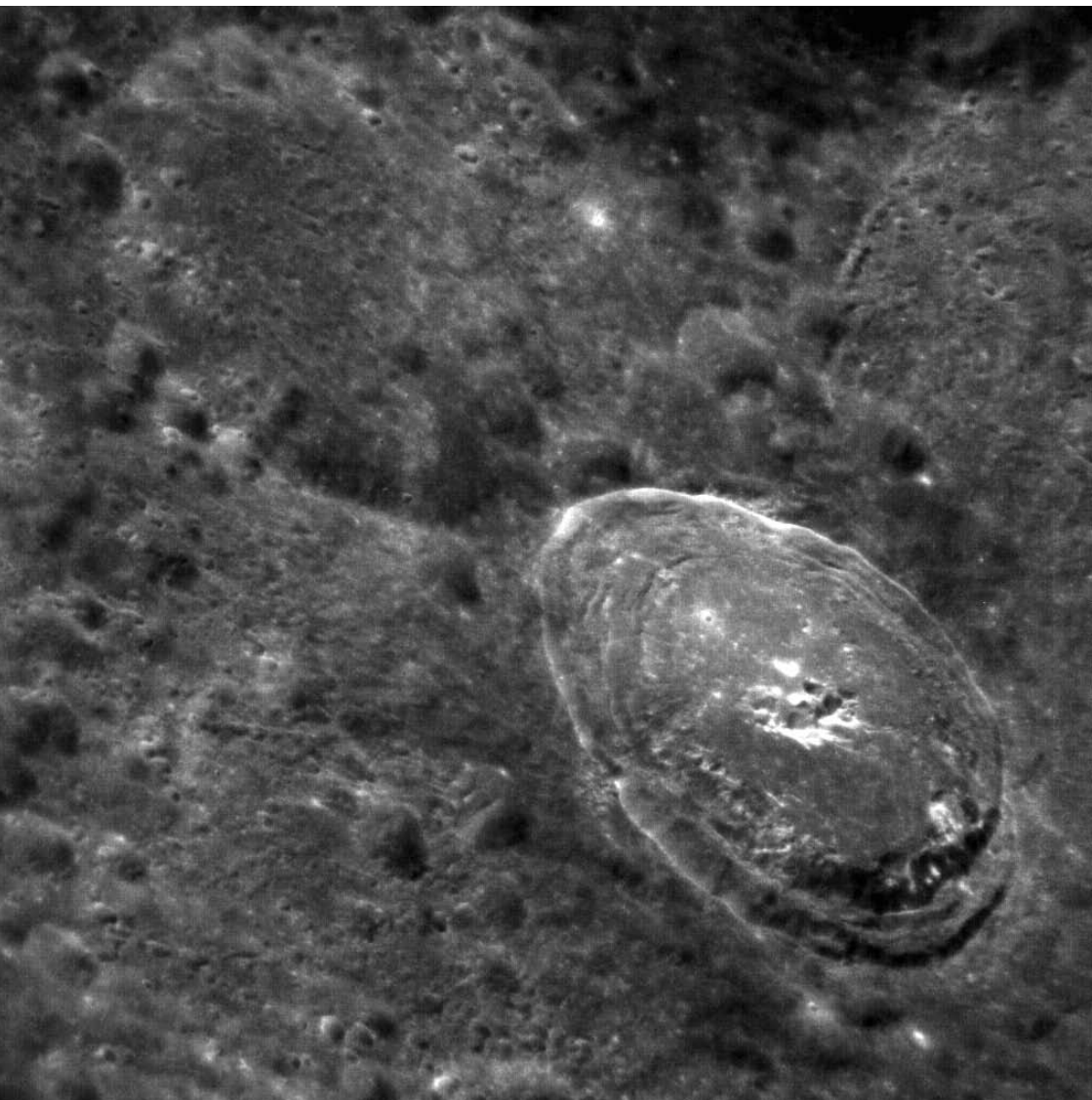
Le vaisseau ne pourra donc observer un point de la surface avec un éclairage donné que deux fois au cours de la mission. En conséquence les observations doivent être planifiées très soigneusement pour couvrir la plus grande partie de la planète sous de bonnes conditions.

Les six premiers mois de Messenger seront principalement occupés par la cartographie de la planète en diverses couleurs sous des conditions idéales d'éclairage. La deuxième partie de la mission sera consacrée à l'examen à haute résolution de cibles bien choisies ainsi qu'à une nouvelle cartographie monochrome globale sous un angle différent afin de permettre des restaurations stéréoscopiques.

D'autres instruments s'occupent de tâches diverses. Un altimètre laser mesure le relief de l'hémisphère nord.

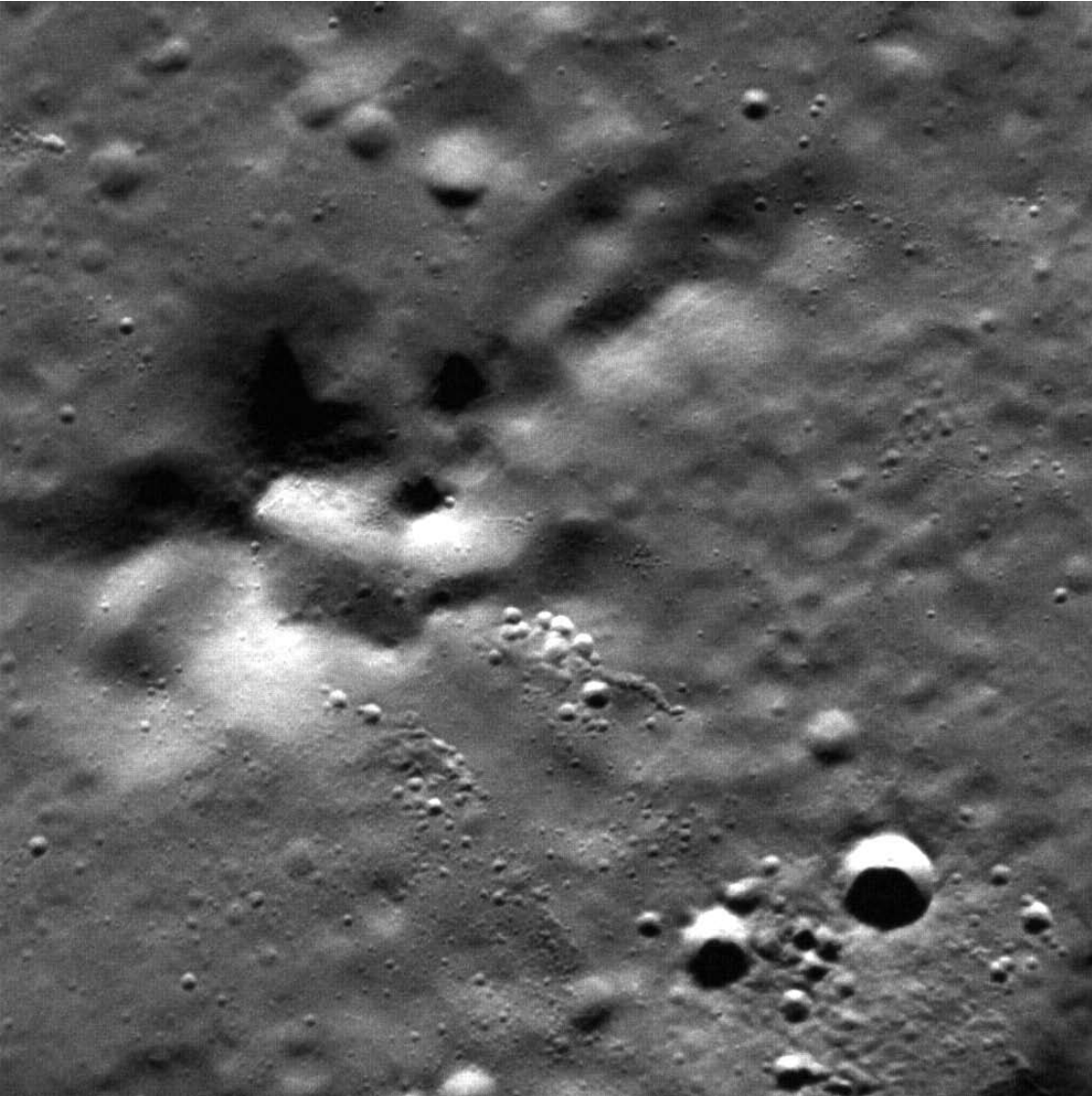
Les cratères Bek (32 km de diamètre) et Lermontov (166 km). Les beaux rayons partant de Bek indiquent sa jeunesse relative. On soupçonne que le fond de Lermontov est sujet à un volcanisme explosif, avec des dépressions irrégulières et des teintes caractéristiques. Cette photo a été obtenue par Messenger le 10 avril dans le cadre d'un relevé global en couleur de 90% de la surface de la planète à résolution moyenne (1 kilomètre par pixel). Les images sont acquises dans huit filtres à bande étroite.
(© NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Carnegie Institution of Washington)





Vue oblique du cratère Bek. Image obtenue par Messenger le 7 avril avec la caméra NAC (Narrow Angle Camera). Les environs de Bek sont constellés de petits cratères

*secondaires dus à la retombée des éjectas.
(© NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Carnegie Institution of Washington)*



Pics anonymes photographiés le 10 avril par Messenger avec la caméra NAC. Le champ qui fait environ 18 kilomètres de côté est situé à l'intérieur d'un cratère de 47 kilomètres. Les montagnes que l'on voit constituent le pic central du cratère. Elles ont l'intérêt de

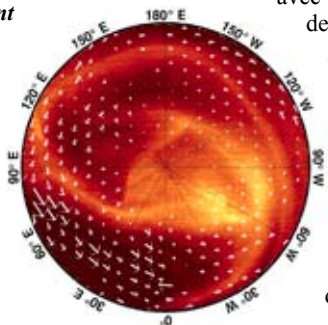
*montrer des matériaux qui étaient enfouis sous la surface de Mercure avant l'impact.
(© NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Carnegie Institution of Washington)*

Des spectromètres X et gamma établissent des cartes globales de la composition élémentaire. Des spectromètres observant de l'infrarouge à l'ultraviolet étudient la composition du sol et celle de l'exosphère en fonction de l'altitude. L'environnement magnétosphérique et le vent solaire sont également analysés et des informations topographiques sont glanées par des méthodes d'occultation radio.

Tourbillons de Vénus

Les mouvements du vortex sud de Vénus ont été mesurés avec assiduité, permettant ainsi de lever une partie du mystère entourant la circulation atmosphérique de Vénus. Les images infrarouges du pôle austral transmises par VIRTIS (Visible and Infrared Thermal Imaging Spectrometer) à bord de la sonde européenne montrent un ou deux points brillants (et donc chauds), et parfois même trois, autour desquels évolue une structure en forme de spirale ou de 'S' inversé. En outre, la morphologie du vortex évolue de manière plus ou moins régulière, en moins de 24 heures. Ce phénomène météorologique est un élément important – mais encore mal compris – de la circulation générale autour de l'astre. Des tourbillons analogues existent sur toutes les planètes à atmosphère, y compris la Terre, au sein du système solaire. Dans le cas de Vénus, le mouvement a pu être mesuré avec précision : le centre de rotation du tourbillon est décalé de 3 degrés par rapport au pôle sud géographique et il tourne en 5 à 10 jours terrestres autour de ce dernier.

Image thermique à la longueur d'onde de 5 microns montrant les sommets des nuages de la région polaire australe de Vénus. Les flèches indiquent les vents déduits des mouvements des nuages. (ESA/VIRTIS-VenusX/INAF-IASF/LESIA-Obs. Paris/ Univ. Lisbon/ Univ. Evora, D. Luz, Univ. Lisbon & D. Ber)



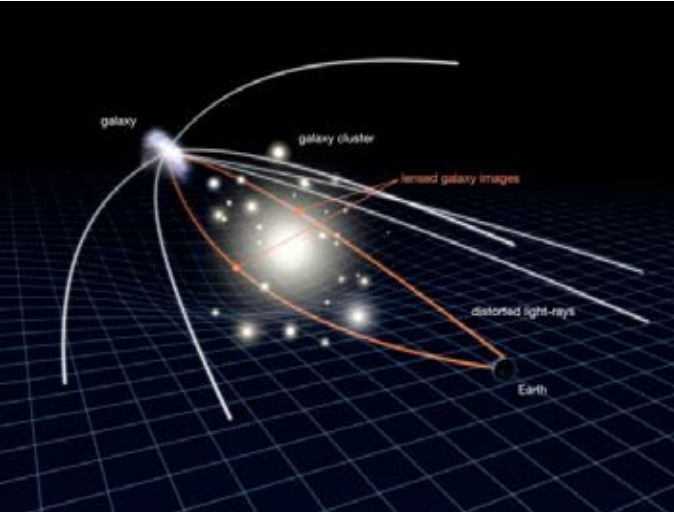
Premières galaxies

Basé sur des communiqués CNRS/INSU/STScI

Les astronomes ont découvert une galaxie lointaine qui contiendrait des étoiles âgées de 750 millions d'années, plaçant l'époque de sa formation à environ 200 millions d'années après le Big Bang. Ces résultats obtenus grâce aux effets de lentille gravitationnelle d'un amas de galaxies, suggèrent que les premières galaxies se seraient formées bien plus tôt que prévu et apportent un éclairage capital sur leur formation et sur leur évolution au début de l'univers. La découverte d'une telle galaxie défie les théories de formation et d'évolution des galaxies actuellement en vigueur. Elle pourrait aider à résoudre le mystère concernant la ré-ionisation du gaz d'hydrogène neutre, opaque aux rayonnements ultraviolets, qui remplissait l'univers à ses débuts et expliquer ainsi comment l'univers est devenu transparent aux UV dans le premier milliard d'années après le Big Bang.

Cette galaxie a pu être détectée grâce à l'amplification gravitationnelle de l'amas de galaxies Abell 383, dont l'importante force de gravitation, selon la théorie de la Relativité Générale d'Einstein, affecte les rayons de lumière des galaxies plus distantes à la manière d'une loupe déformante. La découverte de cette galaxie est exceptionnelle car seul un alignement naturel quasi parfait entre la source, l'amas de galaxies et la Terre en a permis la détection. La galaxie a tout d'abord été identifiée avec le télescope spatial Hubble, puis confirmée sur des images du télescope spatial

Spitzer. Le décalage vers le rouge mesuré avec un télescope Keck à Hawaii est de 6,027, ce qui signifie que cette galaxie est vue telle qu'elle était lorsque l'univers était âgé d'environ 950 millions d'années. Contrairement aux autres galaxies lointaines détectées et possédant en majorité des étoiles jeunes, elle contiendrait des étoiles âgées de 750 millions d'années, plaçant l'époque de



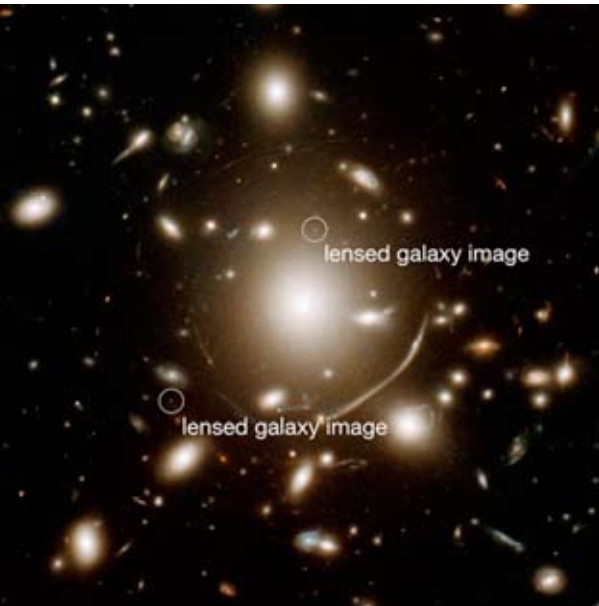
L'amas de galaxies situé sur la ligne de visée entre une galaxie et la Terre déforme l'espace-temps et le trajet des rayons lumineux. Dans la configuration observée, deux rayons lumineux venant d'une galaxie lointaine atteignent directement la Terre. Ce sont ces 2 images que l'on retrouve dans la photographie de l'amas Abell 383 prise par le télescope spatial Hubble. (© NASA, ESA, J. Richard (CRAL), J.-P. Kneib (LAM)).

sa formation à environ 200 millions d'années après le Big Bang.

Il semble probable qu'il existait dans l'univers primitif un grand nombre de galaxies formées à la même période. Ces galaxies ont

pu fournir le rayonnement nécessaire à la ré-ionisation.

Actuellement, les galaxies de ce type ne sont détectables qu'au travers des amas massifs jouant le rôle de télescopes cosmiques. Dans les prochaines années, le télescope James Webb (NASA/ESA/CSA), dont le lancement est prévu au cours de cette décennie, étudiera de manière détaillée cette nouvelle population de galaxies, tout comme, à plus long terme, le futur télescope géant européen (E-ELT) de l'ESO.



En observant l'amas de galaxie Abell 383 les astronomes ont identifié une galaxie si lointaine que nous la voyons alors que l'univers n'avait que 950 millions d'années. Elle est visible comme deux petits points (encerclés) de chaque côté de la galaxie centrale de l'amas. Sur cette photographie prise par le télescope spatial Hubble on identifie aussi d'autres images de galaxies fortement déformées apparaissant comme des arcs, mais plus proches que la paire de galaxies identifiée. (© NASA, ESA, J. Richard (CRAL) and J.-P. Kneib (LAM)).

Mars

Basé sur un communiqué CNRS

L'évolution d'une planète doit être envisagée dans sa globalité. Cela nécessite de comprendre l'évolution thermique et dynamique de l'intérieur planétaire en relation avec l'activité volcanique ou tectonique. En effet, la formation d'un volcan résulte de la fusion partielle des roches du manteau et de l'ascension de ces liquides magmatiques jusqu'à leur éruption en surface. La composition des liquides magmatiques est contrôlée par la profondeur (pression) et la température à laquelle la fusion a lieu. Par exemple, les roches volcaniques terrestres d'âge archéen (il y a environ 3 milliards d'années) suggèrent que le manteau de notre planète était plus chaud à cette époque qu'aujourd'hui. C'est ce lien entre la chimie des magmas et les conditions de fusion que les chercheurs ont exploité pour Mars.

Le spectromètre Gamma de Mars Odyssey a cartographié plusieurs éléments chimiques à la surface de Mars, en particulier le silicium, le fer et le thorium. L'abondance de ces éléments dans une douzaine de régions volcaniques constitue un précieux enregistrement des processus de fusion dans le manteau de la planète durant quatre milliards d'années. Les variations de ces abondances dans les roches volcaniques

témoignent d'une diminution de la température du manteau au cours du temps, d'un épaississement de la lithosphère à la base de laquelle se produit la fusion et d'une origine des magmas de plus en plus profonde.

Ces résultats permettent de reconstituer avec précision l'évolution thermique de Mars.

Le refroidissement de Mars (30 à 40°C par milliards d'années) apparaît plus lent que pour la Terre (70 à 100°C par milliard d'années). Il faut sans doute en chercher la cause dans l'absence de tectonique des plaques sur Mars. Cette étude met aussi en lumière la diversité des scénarios d'évolution planétaire et permet de comprendre comment une planète voit son activité volcanique s'éteindre lorsque le magma ne parvient plus à traverser une lithosphère devenue trop épaisse. Ces résultats offrent un cadre nouveau pour aborder de nombreuses questions telles que les causes de l'arrêt du champ magnétique interne de Mars il y a 4 milliards d'années, l'origine de la croûte antérieure à 4 milliards d'années, ou encore les relations entre le volcanisme et l'évolution des paramètres physico-chimiques de l'atmosphère martienne.

Évolution thermique déduite des concentrations de surface en fer, silicium, thorium pour les 12 régions volcaniques. Cette évolution se traduit par un refroidissement d'environ 80°C pour 50 km d'épaississement lithosphérique. En arrière-plan, les globes de Mars (topographie issue des données de la mission Mars Global Surveyor) permettent de situer les différentes régions volcaniques. (© David Baratoux, CNRS).

