

L'EXPLORATION SPATIALE DES SYSTÈMES SOLAIRES ET EXTRASOLAIRES



AYMERIC SPIGA (2000)
maître de conférences à Sorbonne Université



JÉRÉMIE LASUE (99)
astronome adjoint à l'Observatoire Midi-Pyrénées



PASCAL TREMBLIN (2004)
chercheur au CEA

Grâce aux progrès réalisés en matière d'observation du ciel, nous vivons en ce début du XXI^e siècle un renouveau exceptionnel de l'exploration du système solaire autour des questions fondamentales de la formation des systèmes planétaires, de la caractérisation de leurs surfaces et atmosphères, et des mécanismes de l'apparition de la vie.

Un nouveau champ de l'astrophysique et de la planétologie s'est ouvert avec la découverte en 1995 de la première exoplanète, 51 Peg b. Les astrophysiciens étaient alors à la recherche d'exoplanètes de la taille de Jupiter, suffisamment massives pour engendrer un mouvement de leur étoile autour du centre de masse du système. La surprise fut totale lorsque fut découverte une planète géante à une distance environ 10 fois plus

proche de son étoile que ne l'est Mercure du Soleil ! 51 Peg b est donc un « Jupiter chaud » fortement irradié par son étoile avec des températures maximales avoisinant les 2 500 degrés.

Plus de 4 000 exoplanètes découvertes

La population des 4 000 exoplanètes découvertes depuis lors ne cesse de nous surprendre par leur diversité. L'une des questions qui se pose de manière récurrente est l'habitabilité de ces environnements planétaires, définie par des conditions physiques stables permettant la présence d'eau liquide, de sources d'énergie et d'éléments chimiques nécessaires à la vie. D'autre part, les biologistes ont démontré l'existence d'extrémophiles : des formes de vie adaptées à des conditions inhospitalières pour le vivant. Ce contexte explique le fort intérêt pour l'exobiologie, la recherche de traces de vie hors de notre planète.

Des témoins de l'histoire du cosmos

Les mondes lointains exoplanétaires font écho à des questions fondamentales qui se posent sur notre système solaire et auxquelles les missions d'exploration spatiale présentes, passées, futures tentent de répondre. Les affleurements rocheux de Mars, le climat infernal de Vénus, la poussière organique de Titan, les puissants courants des géantes gazeuses nous racontent tous la variété et l'histoire des planètes de notre système solaire. Ils témoignent également des différences et similitudes entre les intérieurs, les surfaces, les atmosphères des corps composant le système solaire, dont notre Terre.

Des comètes mieux connues

Les comètes sont des objets primitifs formés du matériau primordial du système solaire dont la sublimation à proximité du Soleil crée les queues cométaires qui les caractérisent. La mission *Rosetta* de l'Agence spatiale européenne (ESA) a suivi la trajectoire de la comète 67P/Churyumov-Gerasimenko pour étudier son activité lors de son passage près du Soleil. À bord de la sonde *Rosetta*, le robot *Philae* a été le premier atterrisseur cométaire. Les instruments scientifiques embarqués ont cartographié la comète avec une résolution de 2 cm, et mesuré ses propriétés. Les structures observées en surface et en profondeur contraignent la formation des planètes et remettent en question certains aspects des modèles dynamiques actuels. *Rosetta* a aussi démontré la présence

de molécules riches en carbone, ainsi que la glycine (un acide aminé), dont l'apport par impact sur la Terre primitive a pu favoriser l'émergence de la vie.

Des traces anciennes de vie sur Mars

Plus proche de nous, Mars est un terrain d'exploration privilégié pour l'exobiologie. *Mars Science Laboratory*, également appelé *Curiosity*, est un rover de la Nasa (avec une forte contribution française) qui s'est posé dans le cratère Gale. Là se trouve une montagne sédimentaire de cinq kilomètres d'altitude dont les strates ont gardé les traces du climat passé. *Curiosity* a trouvé la présence

↓ Image de la comète 67P/Churyumov-Gerasimenko par la sonde *Rosetta*, combinée à une image de la sonde et de l'atterrisseur *Philae*.

↓ Image panoramique prise par le robot *Curiosity* dans le cratère Gale sur la planète Mars.

↘ Mars est un terrain d'exploration privilégié pour l'exobiologie.

d'argiles formées dans des conditions réductrices, sous environnement aqueux peu salin, et tous les éléments nécessaires à la vie. Pour la première fois, des molécules de carbone d'origine martienne ont été détectées, démontrant l'habitabilité passée de Mars. Lorsque la Terre et Mars se sont formés, tous deux étaient habitables. L'environnement terrestre a effacé les traces de cette époque, mais la surface de Mars, plus ancienne, a pu préserver des indices d'une possible émergence de vie.

Mars Express et Venus Express, deux missions de l'ESA

Mars est également passé au peigne fin par des missions orbitales, comme la mission *Mars Express* de l'ESA qui caractérise à la fois la minéralogie de surface et les cycles du dioxyde de carbone, de l'eau et des poussières dans l'atmosphère de la planète rouge. *Mars Express* est une mission singulière, née en un temps record et un →



“Pour la première fois des molécules de carbone d'origine martienne ont été détectées”



© Julien

→ coût modique des cendres de la mission soviétique *Mars 96*. Sur le même modèle, l'ESA a également lancé *Venus Express* avec un succès scientifique aussi retentissant, complété récemment par la mission japonaise *Akatsuki*. L'exploration de nos voisines nous apprend beaucoup sur notre Terre et son climat. Mars ressemble à une Terre qui, plus petite et un peu plus éloignée du Soleil, aurait perdu son atmosphère. Vénus ressemble à une Terre qui, plus proche du Soleil, aurait vu ses océans s'évaporer pour devenir une fournaise soumise à un effet de serre diabolique.

Comprendre les atmosphères extraterrestres

Traversées d'orages gigantesques, de vents puissants, de tourbillons spectaculaires, Jupiter et Saturne sont des cibles de choix pour explorer la diversité des atmosphères extraterrestres, d'autant que, suffisamment massifs pour avoir gardé leur atmosphère primordiale, ils nous renseignent sur les origines du système solaire. Autour de ces planètes gravitent, de plus, des satellites aux propriétés fascinantes, laboratoires des processus ayant façonné la Terre. La mission *Cassini* de la Nasa et l'atterrisseur *Huygens* de l'ESA visant Titan ont donc été lancés dans les années 90. Entre 2004 et 2017, *Cassini* a enchaîné les orbites autour de Saturne pour étudier ses anneaux, ses tempêtes atmosphériques, son surprenant courant polaire hexagonal, tout en découvrant les geysers d'Encelade et les saisons tourmentées de Titan. La mission

© Janez Volmajer



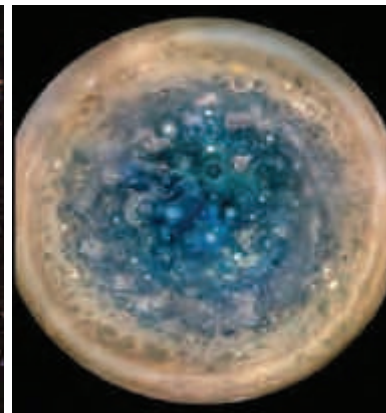
DES MISSIONS VERS JUPITER, MARS, URANUS ET NEPTUNE

L'exploration des atmosphères planétaires doit se poursuivre également, et la mission *JUICE* de l'ESA explorera l'atmosphère de Jupiter en même temps que ses satellites glacés. En plus de *Mars 2020*, et de la mission géophysique *InSight* qui doit atterrir à la fin 2018, de nombreuses missions orbitales et *in situ* sont prévues vers l'environnement martien, avec des projets américains, européens (en coopération avec la Russie), indiens, japonais, chinois, émiratis - préfigurant peut-être une exploration humaine avant la fin du XXI^e siècle. Enfin, Uranus et Neptune sont fort mal connus, n'ayant eu aucune mission spatiale dédiée depuis le survol par *Voyager 2* à la fin des années 80. Les progrès technologiques des lanceurs et instruments pourraient permettre de mieux connaître ces environnements, analogues proches des environnements exoplanétaires.

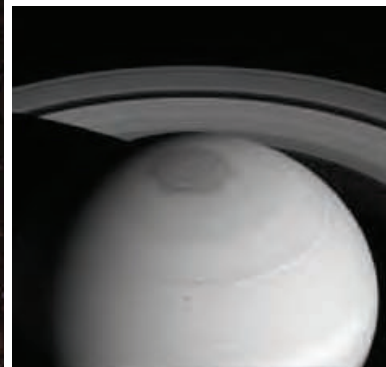
Nasa *Juno* est par ailleurs entrée en orbite de Jupiter en 2016, découvrant peu à peu, depuis son intérieur, son champ magnétique et ses étonnants tourbillons polaires.

Un télescope spatial à la poursuite des exoplanètes

Qu'en est-il des mondes exoplanétaires ? *Kepler* est un télescope spatial de la Nasa observant toutes les étoiles d'un champ fixe du ciel de 115 degrés carrés, à la recherche d'éclipses périodiques de leurs courbes de lumière indiquant la présence potentielle d'une exoplanète. La mission *Kepler* a pu ainsi confirmer la très grande diversité des architectures des systèmes exoplanétaires, en termes de tailles, orbites et nombre de planètes par étoile. Notre système solaire a ainsi perdu son statut de référence biaisant l'imaginaire des astrophysiciens pour commencer à faire figure aujourd'hui d'exception. Le nombre de systèmes observés à ce jour, comportant une, deux ou



← Image de la sonde *Cassini* des anneaux de Saturne et du courant atmosphérique de forme hexagonale en son pôle nord.



↳ Image de la sonde *Juno* des régions polaires de Jupiter montrant sa turbulence et ses tourbillons caractéristiques.

← Vénus ressemble à une Terre qui, plus proche du Soleil, aurait vu ses océans s'évaporer pour devenir une fournaise soumise à un effet de serre diabolique.

trois planètes d'environ la taille de Neptune plus proche que Mercure de leur étoile, rend le système solaire statistiquement atypique et pourrait pointer le rôle déterminant de la migration de Jupiter sur l'architecture du système solaire interne.

Un futur prometteur

Les projets de missions futures sont nombreux. Les retours d'échantillons permettront de faire des mesures actuellement impossibles par les missions spatiales. *Hayabusa-2* (avec un atterrisseur européen) et *Osiris-Rex* collecteront des échantillons d'astéroïdes, le rover *Nasa Mars 2020* sélectionnera des échantillons martiens pour un retour futur, et la Chine ramènera les premiers échantillons lunaires depuis quarante ans. D'autres environnements habitables se trouvent en profondeur des satellites glacés Europe et Encelade des planètes géantes Jupiter et Saturne. Europe sera explorée plus en

“Des découvertes qui nous permettront de mieux appréhender nos origines”

détail par la Nasa avec *Europa Clipper* et par l'ESA avec la mission *JUICE* d'ici 2030. La dynamique d'exploration exobiologique continuera donc au cours de la prochaine décennie avec des découvertes qui nous permettront de mieux appréhender nos origines.

Une nouvelle moisson d'exoplanètes

Une nouvelle ère pour la caractérisation des exoplanètes s'annonce avec le lancement en 2020 du télescope spatial *James Webb Space Telescope* (JWST) de la Nasa, l'ESA et l'Agence spatiale canadienne. Grâce à un miroir trois fois plus grand qu'*Hubble* et des instruments couvrant toute la gamme spectrale infrarouge, le JWST va obtenir des spectres d'émission et de transmission d'exoplanètes d'une qualité sans précédent pour les Jupiters et Neptunes chauds et leur atmosphère primaire ressemblant à nos géantes gazeuses, mais aussi les super-Terres (2 à 5 fois plus massives que notre Terre), dotées d'atmosphères secondaires riches en eau, dioxyde de carbone, azote et soufre. De telles découvertes serviront ainsi à remettre nos planètes dans un contexte plus large permettant une réflexion sur le statut si particulier de notre système solaire. ✕