

ROSETTA OU LE VOYAGE DANS LA MEMOIRE DU COSMOS

DEROULEMENT DE L'EPREUVE :

25 minutes d'interrogation comprenant :

- La lecture du résumé comportant au maximum 10 lignes,
- La lecture des mots clés (5 maximum),
- Un exposé structuré (10 minutes maximum),
- Des réponses aux questions scientifiques posées par les examinateurs à partir du texte.

Rosetta ou le voyage dans la mémoire du cosmos

En septembre dernier, l'orbiteur Rosetta s'est écrasé sur la comète Tchouri qu'il explorait depuis deux ans, marquant la fin d'une mission qui a bouleversé la vision que nous avons de ces objets primitifs du Système solaire.

Philippe Pajot, journaliste

Repères

■ Imaginée il y a trente ans, la mission Rosetta est un rendez-vous spatial avec la comète 67P/Churyumov-Gerasimenko, dite « Tchouri ».

■ De multiples instruments ont analysé la comète et ont permis de comprendre que les comètes n'étaient pas les « boules de neige sales » que l'on imaginait jusqu'ici.

■ La complexité mise au jour renforce leur rôle dans l'apparition de la vie sur Terre.

«

L

a mission Rosetta nous en a appris plus sur les comètes que toutes les missions précédentes. Elle restera l'une des grandes étapes de l'exploration du

Système solaire », apprécie Jean-Pierre Bibring, de l'Institut d'astrophysique spatiale à Orsay et responsable scientifique français de Philae, l'atterrisseur qui s'est posé sur la comète. Après deux années d'analyses de données, clap de fin le 30 septembre 2016, lorsque les scientifiques terminent la mission en faisant s'écraser Rosetta sur la surface cométaire.

Avant cette mission historique, notre vision des comètes était très partielle. On les pensait constituées essentiellement de glace d'eau, avec des grains sombres piégés à l'intérieur, d'où la dénomination « boule de neige sale » que l'on apprenait à l'école. « Première surprise, c'est pratiquement le contraire que nous révèle la mission Rosetta », explique Jean-Pierre Bibring. L'essentiel de la comète, ce n'est pas de la glace, mais des grains constitués de molécules organiques – à base de carbone – et qui servent de ciment, de matrice dans laquelle sont piégés des grains de glace et de silicates. Ce matériau organique a été observé dans tous les états – gazeux et solide –, aussi bien en orbite, à partir des instruments embarqués sur Rosetta, que du sol à l'aide des instruments de Philae, l'engin qui a atterri sur la comète le 12 novembre 2014.

Quelles molécules composent ce matériau ? L'analyse chimique du gaz émis par la comète – sa chevelure – a été réalisée par Rosina, spectromètre de masse de haute résolution situé sur Rosetta. Les résultats sont impressionnants. « Quelques semaines après l'arrivée de Rosetta à proximité de Tchouri, en 2014, Rosina avait déjà détecté toutes les molécules que l'on connaissait auparavant dans les comètes. Et, progressivement, il a allongé cette liste ; la chevelure renferme un véritable zoo de molécules, dont la plupart sont des molécules organiques », raconte Hervé Cottin, astrochimiste au laboratoire interuniversitaire des systèmes atmosphériques et professeur à l'université Paris-Est Créteil. Dans cette liste, la principale surprise a été la teneur élevée en dioxygène (O₂) – quelques pourcents –, dont on n'explique pas bien l'origine.

BRIQUES ÉLÉMENTAIRES DU VIVANT

Parmi les composés organiques, on note la présence d'hydrocarbures aromatiques, tels le naphthalène, le xylène, le benzène ou le toluène. Des dizaines de petits composés aromatiques ont été ainsi mis en évidence⁽¹⁾. L'autre détection notable est celle de la glycine. Cet acide aminé entre dans la composition de nombreuses protéines biologiques. Certes, de la glycine avait été mise en évidence dans le matériau récolté par la sonde Stardust dans la chevelure de la comète 81P/Wild et rapporté sur Terre en 2006,

mais on ne pouvait exclure alors que celle-ci se soit formée après coup, lors de la procédure d'analyse chimique en laboratoire. Cette fois, plus de doute : « *Rosina a détecté la glycine directement dans la chevelure de la comète, sans préparation d'échantillon* », explique Hervé Cottin. Une détection qui renforce le rôle des comètes dans l'apparition de la vie en tant que fournisseur de briques élémentaires du vivant.

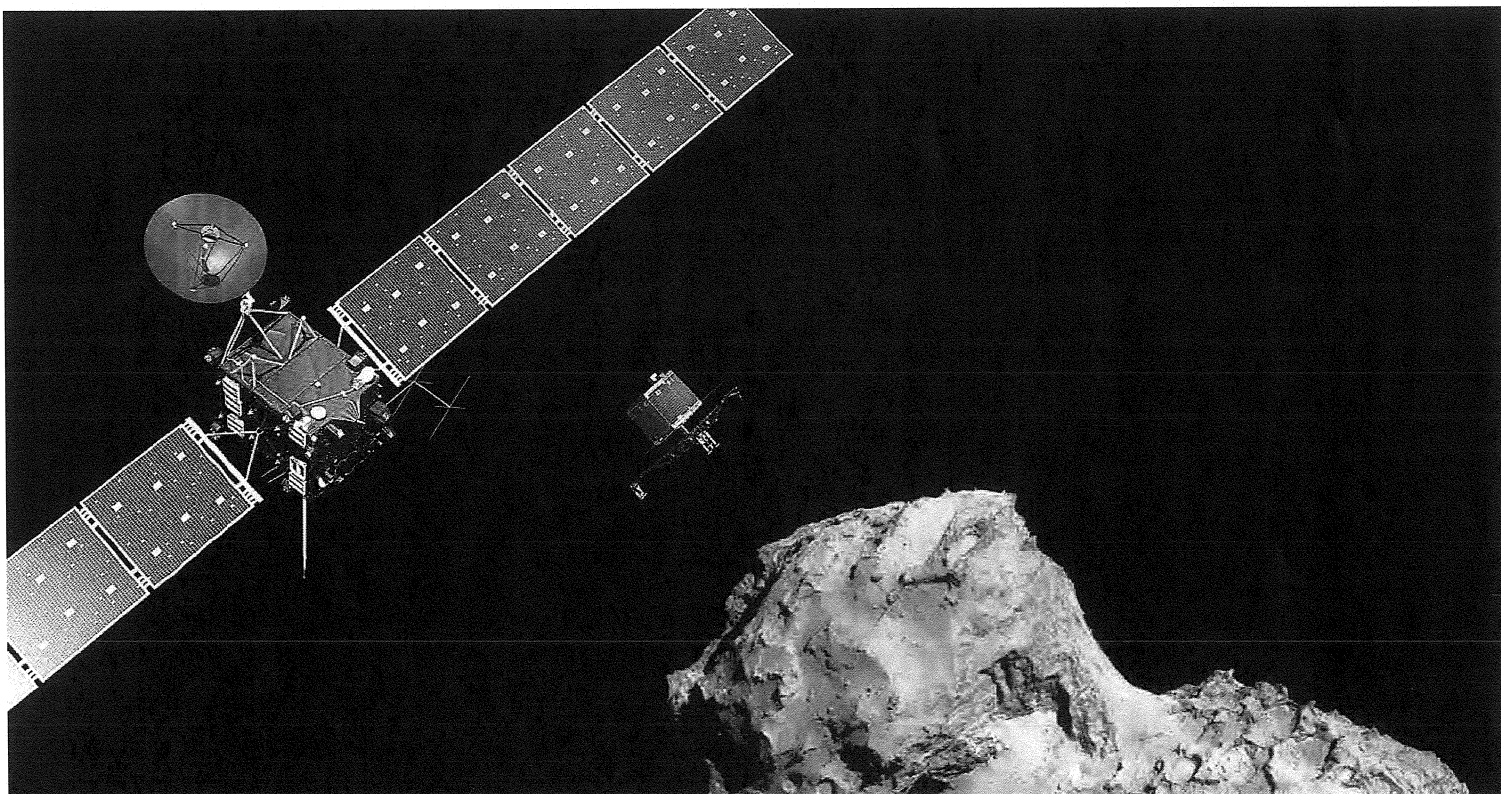
Outre la partie gazeuse de l'atmosphère cométaire, plusieurs instruments à bord de Rosetta ont étudié les grains solides émis par la comète. Là encore, de la matière organique a été détectée, mais sans que l'on puisse vraiment distinguer de quelles molécules il s'agit. Cosima, autre instrument de Rosetta, a capturé à basse vitesse (quelques mètres par seconde) des particules solides de l'atmosphère de la comète. « *Dans ces petits morceaux de comète, nous avons pu montrer qu'outre des minéraux que l'on distingue très bien – essentiellement des silicates –, il y avait de la matière organique, sous forme de macro-molécules. Une sorte d'agrégat de carbone, d'hydrogène et d'autres atomes, qui forment une mélasse organique* », explique Hervé Cottin. Autrement dit, la matière organique se présente sous deux formes distinctes. Une forme gazeuse détectée avec Rosina et qui s'exprime par une diversité de molécules orga-

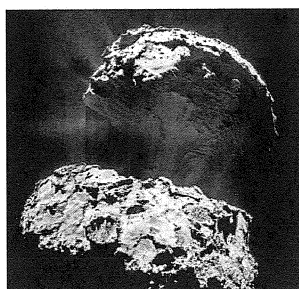
niques, et une forme solide de molécules organiques très diverses, vue par Cosima, qu'on ne peut pas caractériser. « *Une façon d'interpréter la coexistence de ces deux formes est d'imaginer deux sources, explique Hervé Cottin. La première pourrait être une source de matière organique qui a une très longue histoire, peut-être héritée du milieu interstellaire, avant même la formation du Système solaire. Elle aurait subi de très fortes doses de radiation au cours de son histoire jusqu'à évoluer vers une phase macromoléculaire ; la seconde source pourrait avoir commencé son processus d'évolution plus tard, un peu avant que la comète se soit formée.* »

GOUFFRES ET FALAISES

D'autres grains ont pu être analysés sur la comète, cette fois grâce à Philae. S'il n'a pas fonctionné comme prévu, l'atterrisseur a néanmoins fourni de précieux renseignements. Lorsqu'il a été largué en direction de la surface de Tchouri, Philae est descendu très lentement. Ses grappins n'ont pas fonctionné, et il a rebondi deux fois avant de s'immobiliser. « *Quand le robot a touché le sol et a rebondi, il a levé un nuage de grains qui sont venus au contact de nos instruments. Comme sa chute initiale avait été longue – sept heures –, ses instruments ont* ●●●

▼ En novembre 2014, après un voyage de dix ans, la sonde Rosetta (à gauche sur ce photomontage) largue Philae (au centre). Le robot rebondit et réussit à se poser sur la comète Tchouri où il effectue prélèvements et analyses avant de s'éteindre faute de batteries.





▲ Sur ce portrait de Tchouri réalisé à partir des images de la caméra Osiris, embarquée à bord de la sonde Rosetta, on distingue les jets de gaz qui s'échappent du noyau.

(*) Le deutérium est une forme de l'hydrogène qui contient un neutron dans son noyau atomique, en plus d'un proton.

... été chauffés par la lumière solaire à plusieurs dizaines de degrés Celsius, de sorte que des grains ont été vaporisés et que leur composition a pu être analysée, raconte Jean-Pierre Bibring. Ces grains organiques, formés de macromolécules, dont les dimensions atteignent des millimètres, ont été formés dans l'effondrement même du nuage proto-stellaire par une chimie extrêmement spécifique. Ils constituent l'essentiel du matériau cométaire. » Aldéhydes, cétones et structures organiques sont repérés ainsi que du POM (polyoxyméthylène), une brique chimique qui entre dans la composition des sucres, eux-mêmes éléments de base de la vie (2, 3).

Rosetta a enfin révélé la complexité des structures cométaires. Alors que les missions précédentes laissaient penser que les surfaces cométaires étaient lisses, les images de haute résolution des caméras de Rosetta ont surpris les géomorphologues. Ils ont vu apparaître sur cet objet de quelques kilomètres des falaises de plusieurs centaines de mètres de haut, des rochers, et beaucoup de formes auxquelles ils ne s'attendaient pas. « L'idée que les comètes étaient des objets sans beaucoup de relief résultait certes de la faible qualité des images des missions précédentes, mais aussi du fait que sur des objets très poreux, avec une faible gravité, on ne s'attendait pas à voir de structures géologiques marquées. On voit pourtant des falaises et des gouffres ! » s'enthousiasme Jean-Baptiste Vincent, coordinateur du groupe de recherche Osiris, la caméra haute définition de Rosetta. Cette richesse géo-

morphologique permet pour la première fois de faire de la géologie sur une comète en comparant les structures qu'on y observe avec celles que l'on voit sur les autres planètes rocheuses. « Cela n'était pas du tout prévu », renchérit Jean-Baptiste Vincent.

Dans cette structuration complexe, la matière organique paraît jouer un rôle essentiel. « Les changements que l'on observe, telles les fracturations de surface, sont beaucoup trop rapides pour être expliqués par la seule activité de la comète (la sublimation de l'eau), poursuit Jean-Baptiste Vincent. Nous explorons d'autres idées, comme celle d'un objet composite formé à partir de blocs collés entre eux par la matière organique, ce qui est une vision totalement nouvelle des comètes. »

CROÛTE PROTECTRICE

En outre, Rosetta fournit des scénarios plausibles d'apparition de la vie sur Terre. Et ce sont encore les acrobaties inattendues de Philae qui en apportent les arguments principaux. « Comme les comètes sont des matériaux très poreux et de faible densité – la moitié de celle de la glace –, notre crainte était que Philae s'enfonçât à l'intérieur, comme dans de la barbe à papa, explique Jean-Pierre Bibring. Or Philae a rebondi ! Nous avons ainsi découvert que la surface de la comète est formée d'une croûte dure, peu épaisse – quelques dizaines de centimètres – mais suffisante pour offrir une grande résistance. Cet effet trampoline montre que le matériau de cette comète s'est doté d'une couche protectrice. » Et cela a une implication sur l'interaction des comètes avec la Terre. En effet, plusieurs scénarios soutiennent que l'eau terrestre a été apportée par les comètes (lire ci-contre). « Le bouclier qui recouvre Tchouri explique qu'un tel objet, lorsqu'il arrive sur la Terre primordiale, puisse entrer dans l'atmosphère sans se briser, ce qui n'aurait pas été le cas si la comète était un morceau de glace. » Une grosse boule de matériau organique dotée d'une croûte protectrice qui ensemence les océans de la Terre avec des molécules organiques, voilà qui change le paradigme même du passage de l'inerte au vivant ! ■

(1) <http://blogs.esa.int/rosetta/2016/09/29/the-cometary-zoo/> (la plupart des détections n'ont pas encore été publiées dans des revues à comité de lecture).

(2) F. Goesmann et al., *Science*, doi: 10.1126/science.aab0689, 2015.

(3) I.P. Wright et al., *Science*, doi: 10.1126/science.aab0673, 2015.

L'ORIGINE DE L'EAU TERRESTRE

L'eau des océans terrestre aurait-elle été apportée par les comètes ? C'est ce que laissait penser la comparaison d'un paramètre caractéristique de l'eau, le ratio entre deutérium (*) et hydrogène de l'eau, ou D/H. Sa valeur se fixe au moment de la formation de l'eau et reste ensuite constante. Jusqu'ici, tous les D/H mesurés de l'eau des comètes et de l'eau terrestre étaient proches. Une origine commune paraissait donc envisageable : l'eau des océans aurait été apportée par les comètes. Or, Rosetta a mesuré un D/H de l'eau de Tchouri très différent de celui de l'eau des océans terrestres. « Cela ne remet pas pour autant en cause l'origine cométaire de l'eau terrestre, estime Jean-Pierre Bibring, de l'Institut d'astrophysique spatiale à Orsay. Ce rapport D/H étant très sensible à la température au moment de la formation des objets, cela traduit le fait que l'eau sur Terre provient d'un grand nombre d'objets formés dans une assez grande zone du disque primordial à partir duquel s'est formé le Système solaire. »