

Queste de savoir

Des nouvelles de Rosetta et Philae II

15 août 2019

Table des matières

1.	La comète Tchouri	1
2.	À propos de Philae	5
3.	Creuse ou poreuse, une question de densité	7
4.	Parlons magnétisme	7
4.1.	Des données inespérées	7
4.2.	But de ces mesures	7
4.3.	Alors, Tchouri est-elle magnétique ou pas ?	8
5.	Entracte	8
6.	Comment l'activité modèle Tchouri	9
6.1.	Des jets de matière	10
6.2.	Des trous, des gros trous, encore des gros trous	11
7.	Températures et fractures	14
8.	Remerciement	15
9.	Sources	15
10.	Licence	16
	Contenu masqué	16

La mission Rosetta a pour but d'étudier la comète 67P/Churyumov-Gerasimenko (67P/Tchourioumov-Guérassimenko en français), Tchouri de son petit nom. Lancée en 2004, la sonde Rosetta (d'où le nom de la mission) a atteint Tchouri en aout 2014. Un petit robot, Philae, avait pour mission de se poser sur la comète afin de réaliser des expériences directement au sol. Ce largage n'a pas été sans embuches. Depuis, Rosetta et Philae collectent des données scientifiques.

Ce double article vous présente les résultats obtenus depuis mars 2015. Les résultats obtenus entre aout 2014 et mars 2015 ont déjà fait l'objet d'un [article sur Zeste de Savoir](#) ↗ .

1. La comète Tchouri

Les comètes sont de petits objets (leur taille ne dépasse pas quelques kilomètres) qui tournent autour du Soleil selon des orbites très excentrées. Les comètes sont constituées d'un agrégat de glace, de poussières et de matériaux carbonés. Il s'agit de corps qui proviennent soit de la ceinture de Kuiper (entre 30 et 100 UA, au niveau de Pluton), soit d'encore plus loin, du nuage d'Oort (à plus de 10 000 UA), dont l'orbite a été perturbée. Tchouri provient de la ceinture de Kuiper.

1. La comète Tchouri

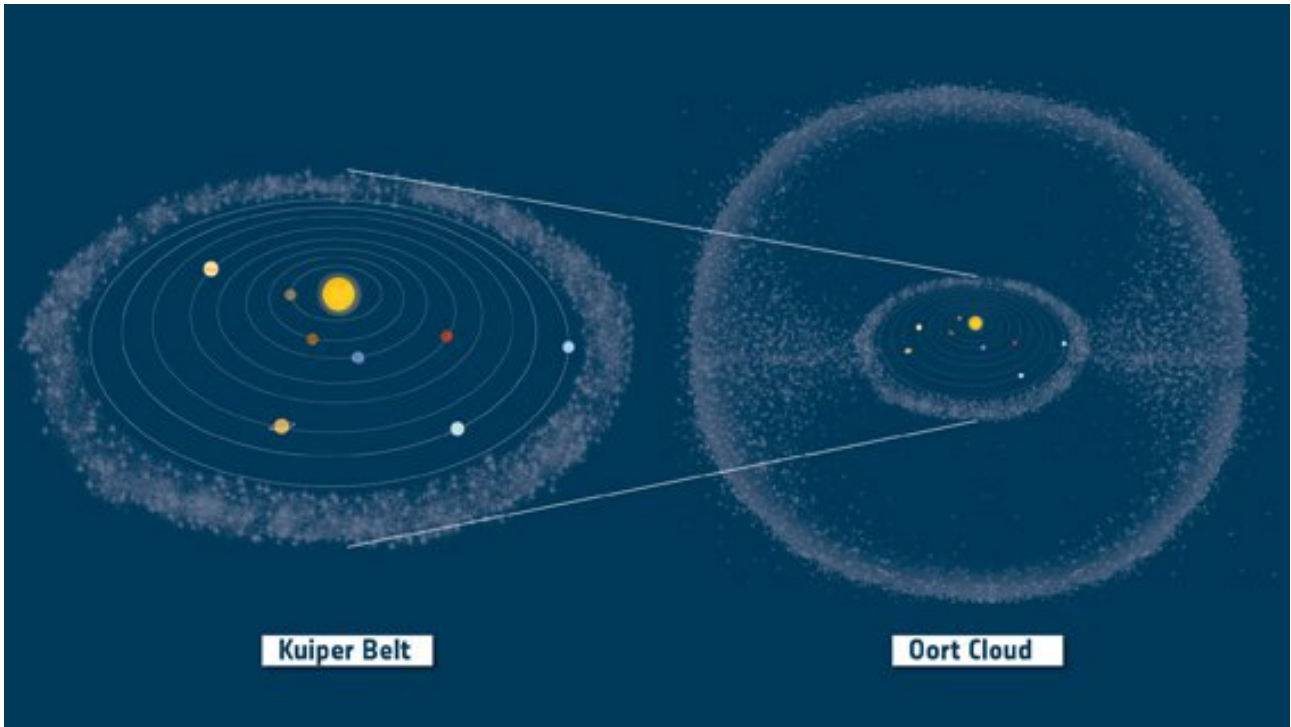


FIGURE 1. – Position de la ceinture de Kuiper et du nuage d'Oort. Crédits : [ESA](#) .

L'orbite d'une comète a deux points particuliers : le périhélie et l'aphélie, respectivement le point le plus proche et le plus éloigné du Soleil. En effet, les orbites des comètes étant très excentriques, leurs distances au Soleil varient au cours du temps. Plus la comète s'approche du périhélie, plus elle se réchauffe. Ce faisant, l'eau à la surface de la comète s'évapore, de même que le dioxyde de carbone ; ces éléments, une fois gazeux, interagissent avec le vent solaire et s'ionisent, provoquant les fameuses queues que l'on voit depuis la Terre. L'activité cométaire provoque aussi des jets ou des nuages de poussières, difficiles à voir depuis la Terre, car ils sont cachés par la queue, très lumineuse, de la comète.

Tchouri a atteint son périhélie l'été dernier, les chercheurs ont donc pu analyser ces phénomènes, non sans quelques difficultés, l'activité sur Tchouri et son environnement immédiat nécessitant d'éloigner un peu Rosetta à quelques centaines de kilomètres¹.

1. Une sonde dans l'espace n'est pas réparable. La sécurité de Rosetta est donc une priorité absolue, sans quoi la mission risque de prendre fin prématurément.

1. La comète Tchouri

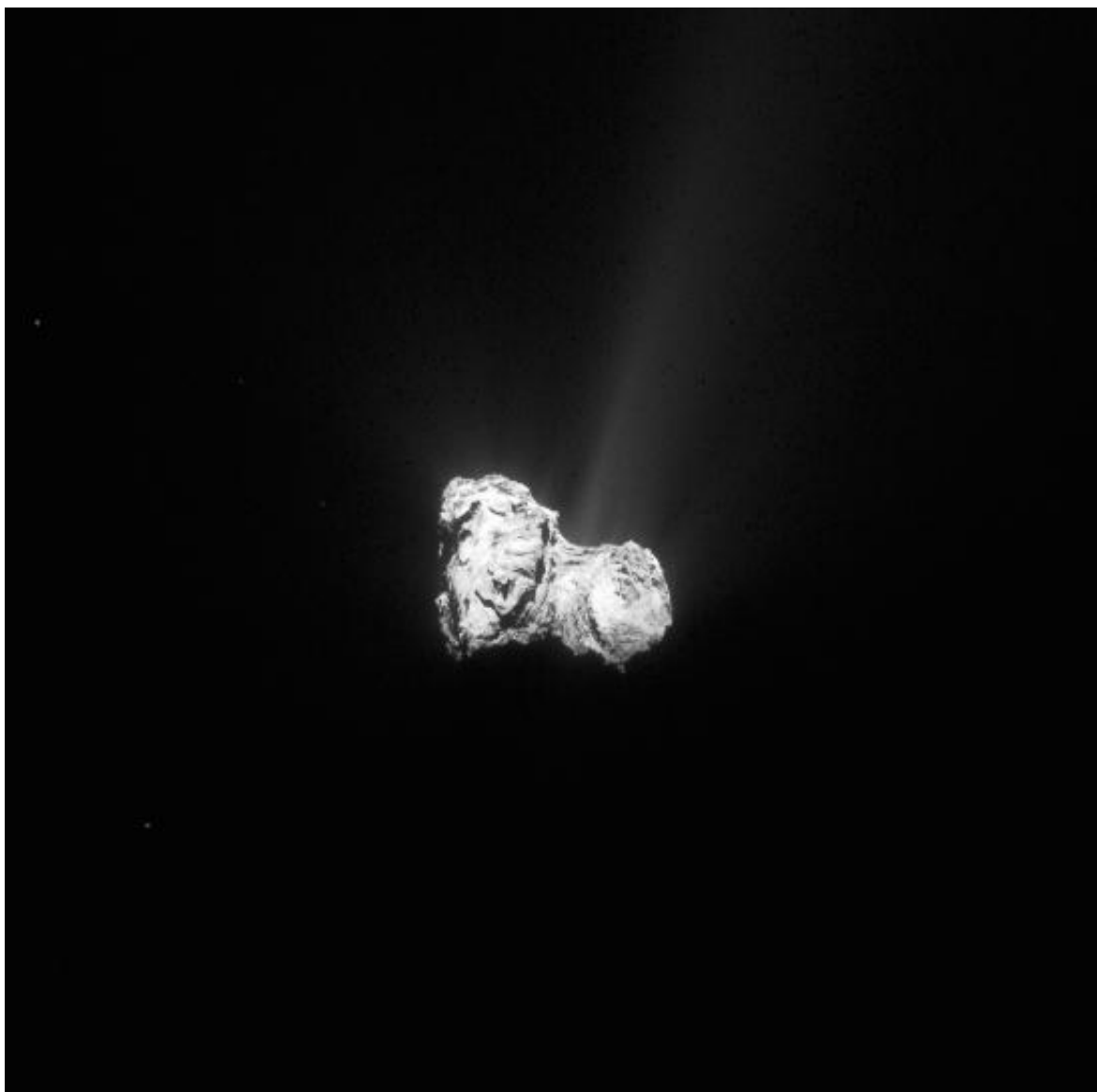


FIGURE 1. – Tchouri, le 30 aout 2015, photographie prise à 404 km du centre de la comète.
Crédits : [ESA/Rosetta/NAVCAM](#) — [CC BY-SA IGO 3.0](#) .

Avant de parler des nouveaux résultats, rappelons que notre compréhension des comètes a déjà évolué grâce à la mission Rosetta. La plus simple des observations est la forme même de Tchouri : elle est biscornue, ressemblant plus ou moins à un canard. On s'attendait à quelque chose de plus régulier. Sa surface a aussi révélé d'énormes surprises, de par sa très grande variété : plaines bien lisses, dunes, falaises... Les chercheurs ont découpé Tchouri en zones homogènes et leur ont donné le nom de divinités égyptiennes.

1. La comète Tchouri

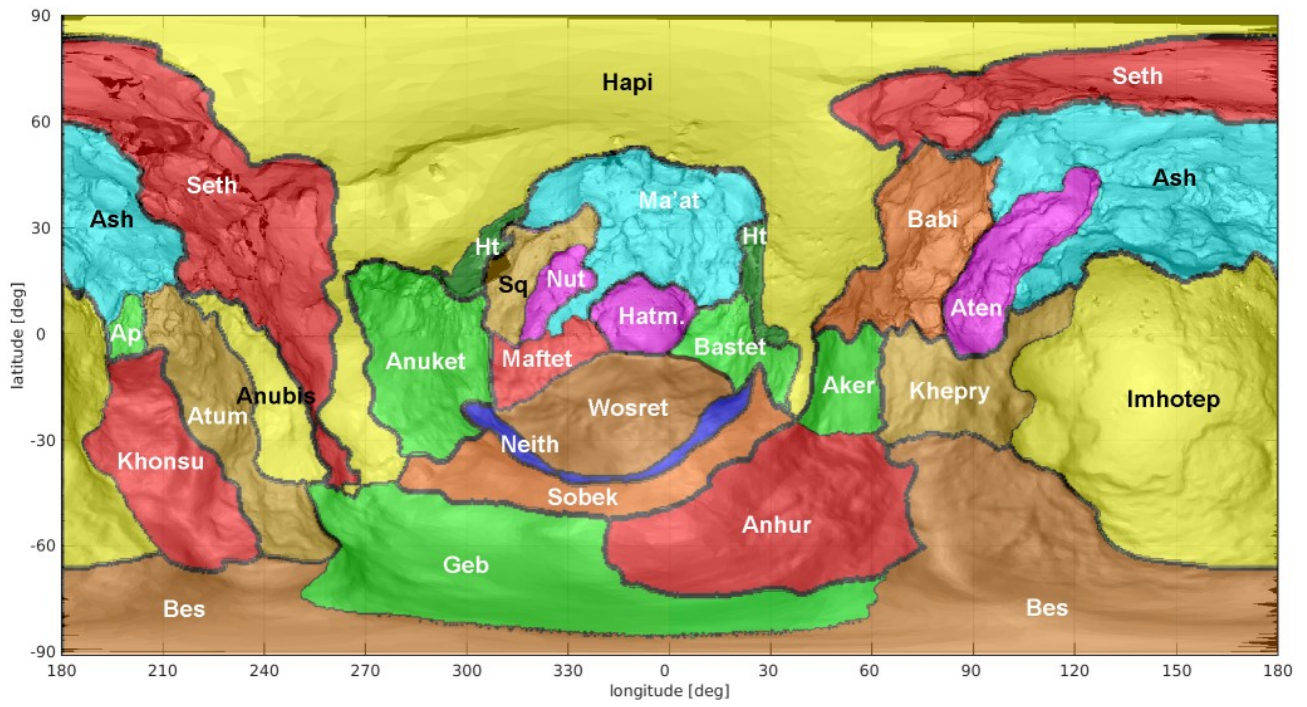


FIGURE 1. – Les différentes zones de l'hémisphère sud de Tchouri. Crédits : [ESA/Rosetta/OSIRIS/El-Maarry et al](#) .

2. À propos de Philae

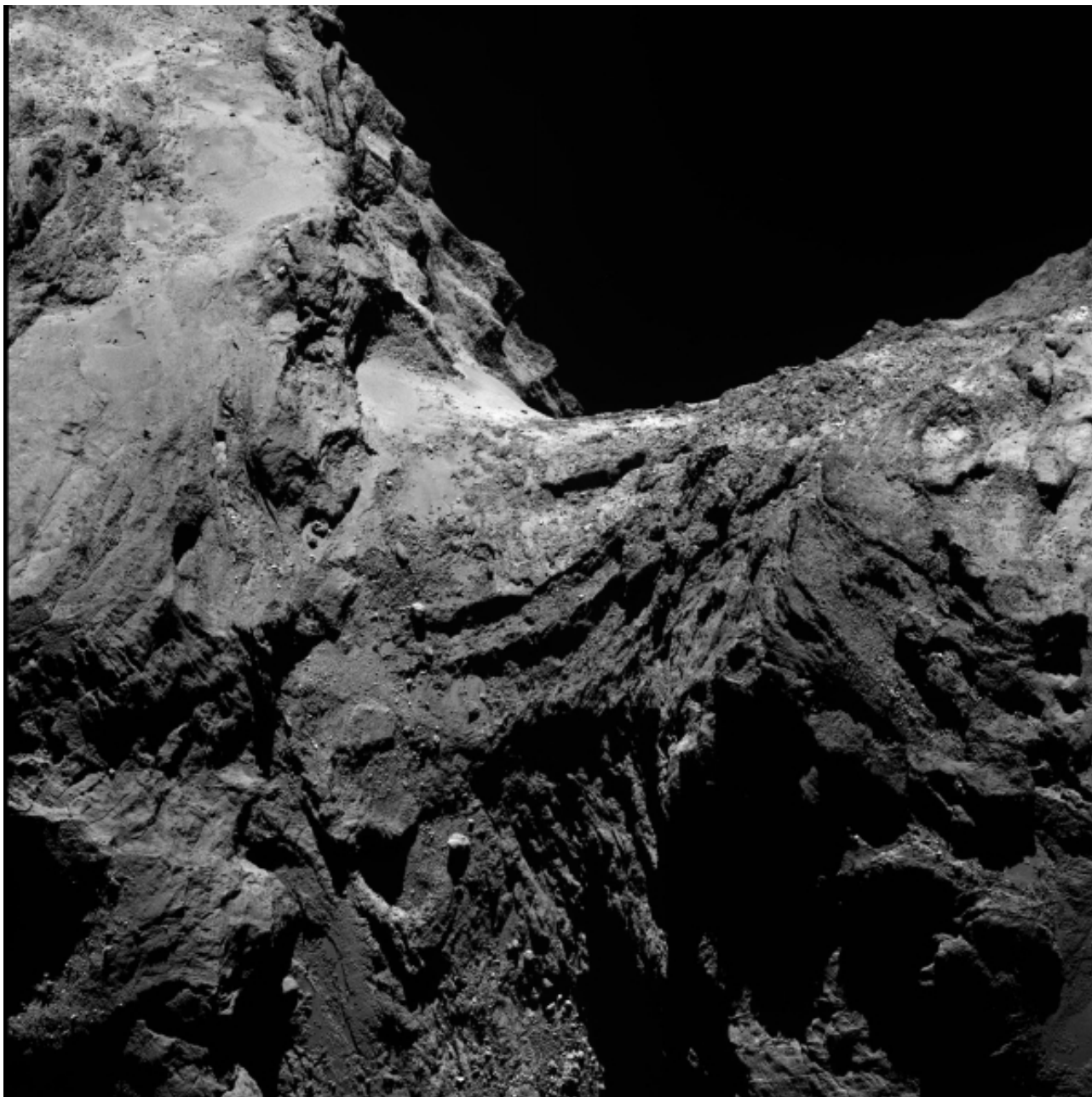


FIGURE 1. – Photo de Tchouri. Voyez la diversité de paysage et la hauteur des falaises. La taille réelle est d'environ 2,3 km de côté. Crédits : [ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS Team MPS/UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/DASP/IDA](#) ↗ .

2. À propos de Philae

Philae est le nom du petit robot embarqué avec la sonde Rosetta et dont la mission était de se poser sur Tchouri pour réaliser des expériences au sol. Ce ne fut pas sans encombre et la position du robot n'était pas optimale. En effet, elle ne lui a pas permis d'orienter ses panneaux solaires et donc de capter de l'énergie, limitant les mesures possibles. De plus, le robot n'étant pas correctement ancré au sol, la foreuse n'a pas pu être utilisée comme cela était prévu. Cela n'a pas empêché Philae de procéder à des mesures et d'envoyer de nombreuses données.

2. À propos de Philae

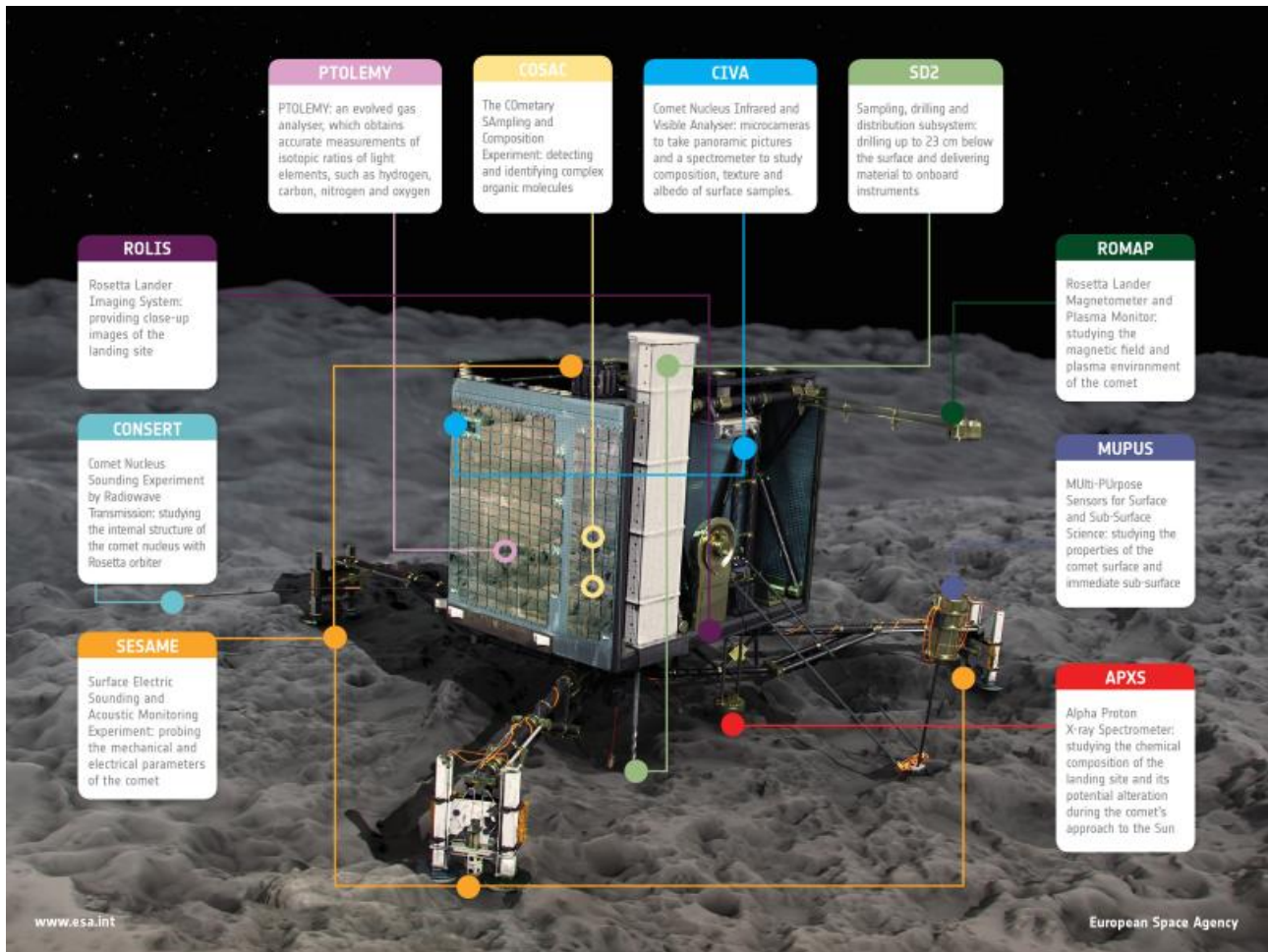


FIGURE 2. – Les appareils scientifiques embarqués sur Philae. Crédits : [ESA](#) .

La mission scientifique de Philae était séparée en une partie dite de première séquence, réalisée avec l'énergie de la batterie, et une autre de long terme, réalisée grâce aux panneaux solaires. Si la première séquence a pu être effectuée à 80 %, la science de long terme a moins bien marché (des panneaux solaires orientés vers l'espace et non le Soleil ne captent guère d'énergie).

Parmi les données récoltées, Philae a pu déterminer la composition du sol de Tchouri. Il s'agit de composés carbonés (dioxyde de carbone, méthane...) ou azotés (ammoniacque...), dont quatre (méthylisocyanate, acétone, propanal et acétamide) n'avaient jamais été détectés sur une comète.

Des mesures précises de la température sur la comète ont pu être effectuées (passage de $-180\text{ }^{\circ}\text{C}$ à $-145\text{ }^{\circ}\text{C}$ en seulement 12 heures — soit une journée sur Tchouri).

Une fois ses batteries épuisées, Philae n'a plus donné signe de vie, à l'exception de quelques messages au printemps 2015, qui n'ont cependant pas permis de récolter des données ou de lancer des expériences. Aujourd'hui, Tchouri s'est trop éloignée du Soleil, et Philae est donc définitivement éteint.

3. Creuse ou poreuse, une question de densité

3. Creuse ou poreuse, une question de densité

Ne vous laissez pas tromper par son apparence rocheuse : Tchouri est légère. Bien que constituée de poussières et de glaces, sa densité moyenne est de 0,53, soit moins que l'eau. On connaît en effet la taille de Tchouri, et on peut déduire sa masse de son influence gravitationnelle ; de là, on calcule sa densité.

Cependant, aussi bien la glace que les poussières ont une densité supérieure. Il y a donc dans Tchouri du vide, des trous. Une question fondamentale se pose ici : la comète est-elle pleine de micro-trous (très poreuse, sur l'ensemble de la comète) ou est-ce qu'il y a quelques gros trous mais que la matière qui compose la comète est plutôt dense ?

Une première réponse a été apportée par Philae et Rosetta à l'aide de mesures par onde radio : il n'y a pas de cavité d'une taille supérieure à une dizaine de mètres dans Tchouri. La comète est donc relativement homogène. C'est un indice qui tend à penser que la comète est poreuse.

Afin d'avoir une réponse plus précise, les chercheurs ont mesuré l'attraction gravitationnelle de Tchouri sur Rosetta, et en particulier la variation de celle-ci lorsque Rosetta orbite. En effet, au cours de son orbite, Rosetta peut mesurer l'attraction gravitationnelle due à la comète, or on connaît la forme précise de Tchouri, donc on peut en déduire la force qui devrait s'appliquer sur la sonde si Tchouri est homogène. S'il y a des trous dans la comète, la force mesurée sera différente, car la matière sera répartie différemment. En comparant les forces mesurées et prédites, on peut dire si Tchouri est homogène ou non.

Les résultats obtenus sont compatibles avec les résultats précédents, qui indiquaient qu'il n'y avait pas de cavernes dans la comète. Cette étude a diminué la taille maximale des cavités à 3 mètres seulement.

4. Parlons magnétisme

4.1. Des données inespérées

L'un des nombreux objectifs de la mission était d'en apprendre plus sur le champ magnétique de Tchouri. Philae et Rosetta ont donc embarqué des instruments permettant de mesurer ledit champ magnétique : ROMAP pour Philae et RPC-MAG pour Rosetta. Ces instruments sont complémentaires et ont très bien fonctionné. Les scientifiques ont même eu droit à des points de mesure supplémentaires grâce à l'atterrissage à rebondissements de Philae ! En effet, l'équipe a pu collecter des données en quatre points de la surface de Tchouri au lieu d'un seul.

4.2. But de ces mesures

Ce qu'on cherche en faisant ces mesures sur Tchouri, c'est à tester des théories sur la formation du système solaire (rien que ça !).

On sait que des matériaux magnétiques étaient présents lors de la formation du système solaire, et on se demande si le champ magnétique a joué un rôle pour former des objets de plus en plus gros. Des objets de plusieurs centimètres, puis mètres, puis dizaines de mètres (au-delà, c'est la

5. Entracte

gravité qui va dominer dans le processus). Des objets comme les comètes. Voilà qui tombe bien, nous avons justement une comète sous la main : Tchouri, qui est représentative des matériaux présents lors de la naissance du système solaire.

4.3. Alors, Tchouri est-elle magnétique ou pas ?

En un mot, la réponse est non.

Plus précisément, le champ magnétique mesuré est tellement faible que s'il y a des matériaux magnétiques, leur taille est inférieure à un mètre (limite mesurable par les instruments embarqués).

Cela signifie qu'il est peu probable que le champ magnétique ait joué un rôle important pour former des objets de plus d'un mètre de diamètre lors de la formation du système solaire. Pour les objets d'une taille inférieure à un mètre, les données de la mission ne permettent pas de conclure.

5. Entracte

Rosetta, c'est aussi de nombreuses images. N'oublions pas que c'est la première fois que l'on observe une comète d'aussi près, avec des images d'une telle résolution.

L'ESA a mis en place un [modèle 3D en ligne](#) de la comète qui vous permet de tourner autour de Tchouri et la voir sous n'importe quel angle. N'hésitez pas à aller voir !

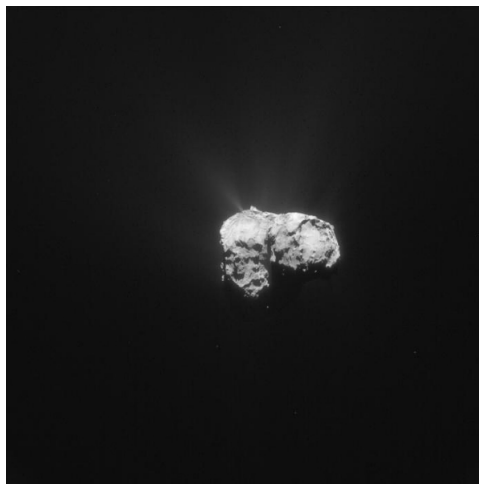


FIGURE 5. – Vue d'ensemble de Tchouri, le 12 novembre 2015. L'image a été prise à 178 km de distance et fait 15,5 km de côté. Crédits : [ESA/Rosetta/NAVCAM](#) — [CC BY-SA IGO 3.0](#) .

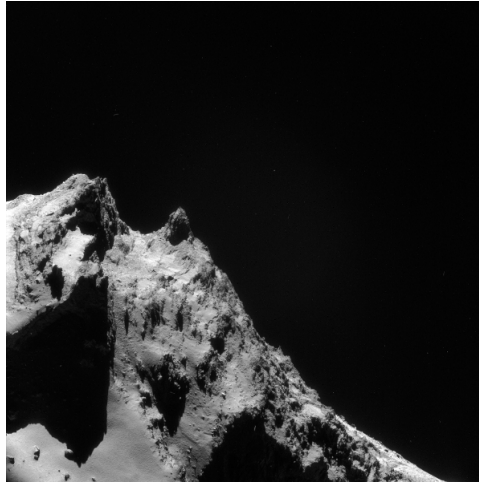


FIGURE 5. – Image de la région Anuket, prise le 13 mars 2016, à 17 km du centre de la comète. L'image fait environ 1,5 km de côté. Crédits : [ESA/Rosetta/NAVCAM](#) — [CC BY-SA IGO 3.0](#) [↗](#) .

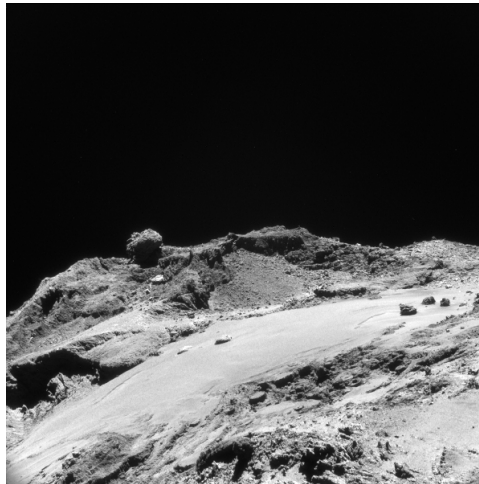


FIGURE 5. – Plaine de la région d'Imhotep. En arrière plan, la région beaucoup plus accidentée de Khepry. L'image a été prise le 19 mars 2016 à 12 km de distance et fait 1,1 km. Sur l'image haute résolution (voir crédits), chaque pixel fait donc 1 m. Crédits : [ESA/Rosetta/NAVCAM](#) — [CC BY-SA IGO 3.0](#) [↗](#) .

6. Comment l'activité modèle Tchouri

Alors que Tchouri se rapproche du Soleil, sa température augmente. Le dioxyde et monoxyde de carbone et l'eau, présents à l'état solide, se subliment (passent à l'état de gaz, sans passer par l'état liquide). Ils peuvent alors quitter la comète. Ce qui se passe autour de la comète, et les éléments découverts dans la chevelure seront détaillés dans le prochain article. Nous allons nous intéresser ici à l'influence de la hausse des températures sur Tchouri elle-même.

6.1. Des jets de matière



FIGURE 6. – Un jet observé sur Tchouri. Les images datent du 29 juin 2015, respectivement à 13 h 06, 13 h 24 et 13 h 42 GMT. On voit bien l'apparition d'un jet sur la 2^e image et un jet résiduel présent sur la 3^e. Crédits : [ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS Team MPS/UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/DASP/IDA](#) [↗](#) .

Ces jets projettent des poussières aussi bien que du gaz dans l'espace. On estime à 1000 kilogrammes par seconde² la quantité de matière perdue par la comète. Si les gaz et les grains de petites tailles s'échappent, les grains les plus gros (dès quelques centimètres) retombent sur Tchouri, participant à la formation des plaines. Ce phénomène serait aussi à l'origine des dunes que l'on trouve sur Tchouri.

2. Cette quantité peut sembler énorme, mais souvenez-vous que Tchouri fait plusieurs kilomètres de côté, d'où un volume de l'ordre de 20 km³. Avec une densité de 500 kg/m³, elle pèse donc environ 10¹³ kg (10 milliards de tonnes). C'est donc une quantité très raisonnable, dans la mesure où cette perte n'a lieu que quand Tchouri est proche du Soleil.

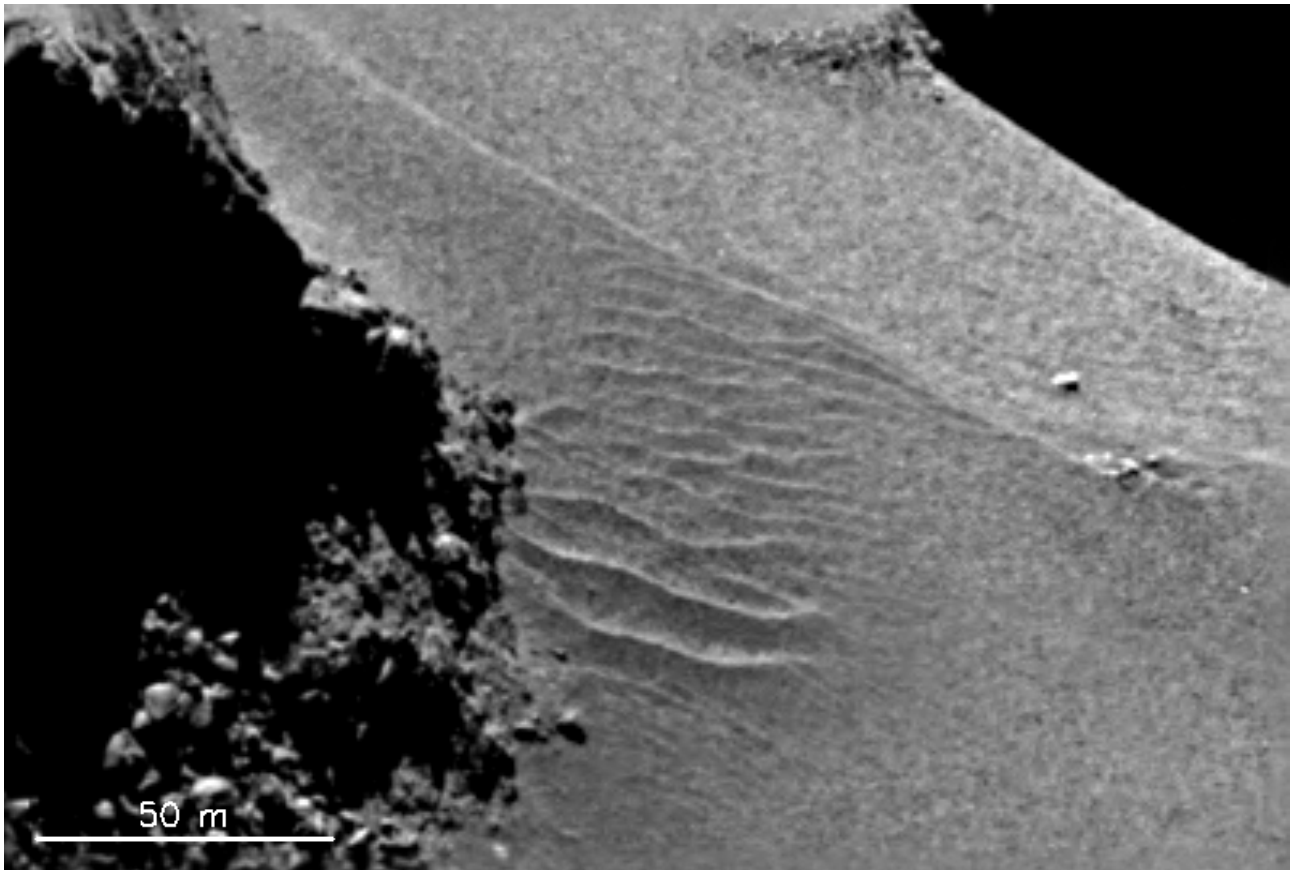


FIGURE 6. – Dune dans la région d'Hapi. Crédits : [ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS Team MPS/UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/DASP/IDA](#) ↗ .

6.2. Des trous, des gros trous, encore des gros trous

Puisqu'il est question de jets, cela signifie que certains endroits de la comète perdent beaucoup plus de matière que d'autres : on voit apparaître des trous sur Tchouri.

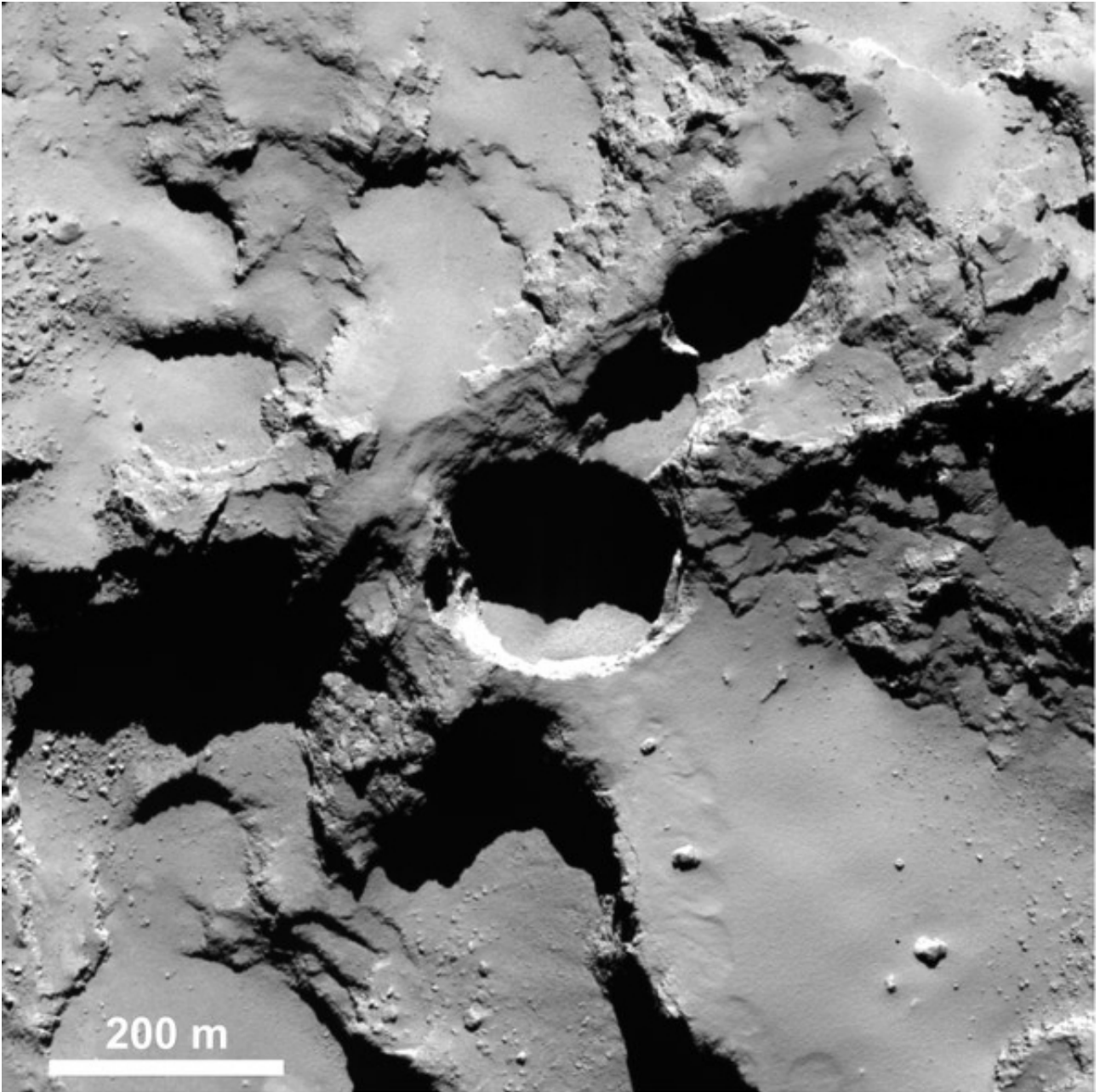


FIGURE 6. – Un trou apparu dans la région Seth. Crédits : ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS Team.

Ces trous sont cylindriques et réguliers. Ils mesurent une centaine de mètres de diamètre et sont apparus dans l'hémisphère nord. Certains de ces trous sont encore actifs, ils continuent d'émettre des gaz et des poussières. L'équipe de l'ESA a proposé le scénario suivant pour expliquer la présence de ces trous :

- Dans un premier temps, l'augmentation de la température provoque la sublimation de glace (d'eau ou de dioxyde de carbone) au sein de la comète.
- Une cavité de gaz se forme. Et grossit.
- Au bout d'un moment, la cavité devient trop grande, et son plafond s'effondre. Les débris de celui-ci tombent au fond, et on voit finalement un trou. Cet effondrement provoque l'apparition d'un jet de matière.

6. Comment l'activité modèle Tchouri

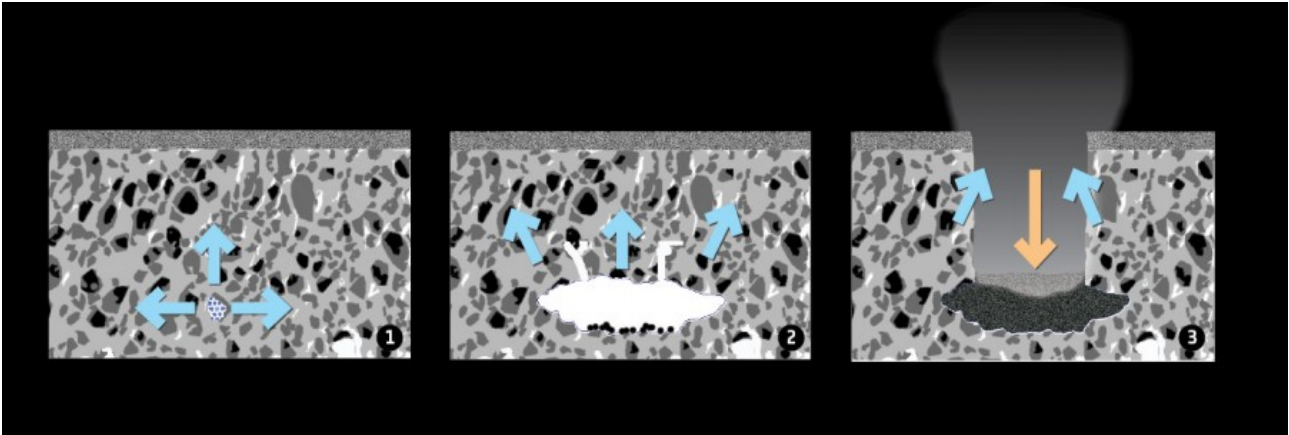


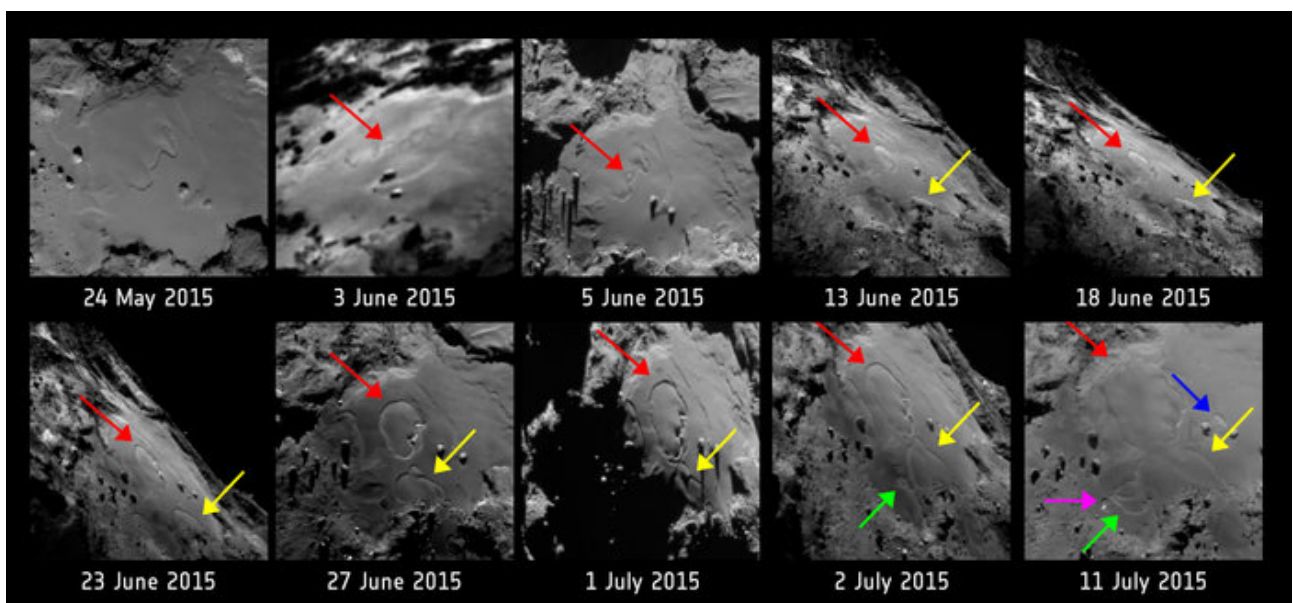
FIGURE 6. – Processus de formation d'un trou. Crédits : SA/Rosetta/J-B Vincent et al (2015) ☞

Ce phénomène avait déjà été observé sur d'autres comètes, et semble associé à l'âge des comètes : seules les comètes jeunes (Tchouri a quitté la ceinture d'astéroïdes il y a seulement 60 ans) voient se former ainsi des trous. Cela est compatible avec le fait que les trous n'ont été observés que sur l'hémisphère nord, qui reçoit moins d'énergie que le sud, et donc a été moins modifié (d'où une surface plus jeune).

Une fois formés, les trous finissent par ne plus avoir d'activité, et seraient alors comblés par l'effondrement de leurs bords (un phénomène observé) et un remplissage progressif par les poussières.

Ces trous pourraient être à l'origine des bassins que l'on trouve en particulier sur Imhotep ☞ .

En parlant d'Imhotep, cette région de la comète, située à l'équateur, a été particulièrement modifiée par l'approche du Soleil. L'image qui suit montre les changements au cours du temps au niveau d'Imhotep.



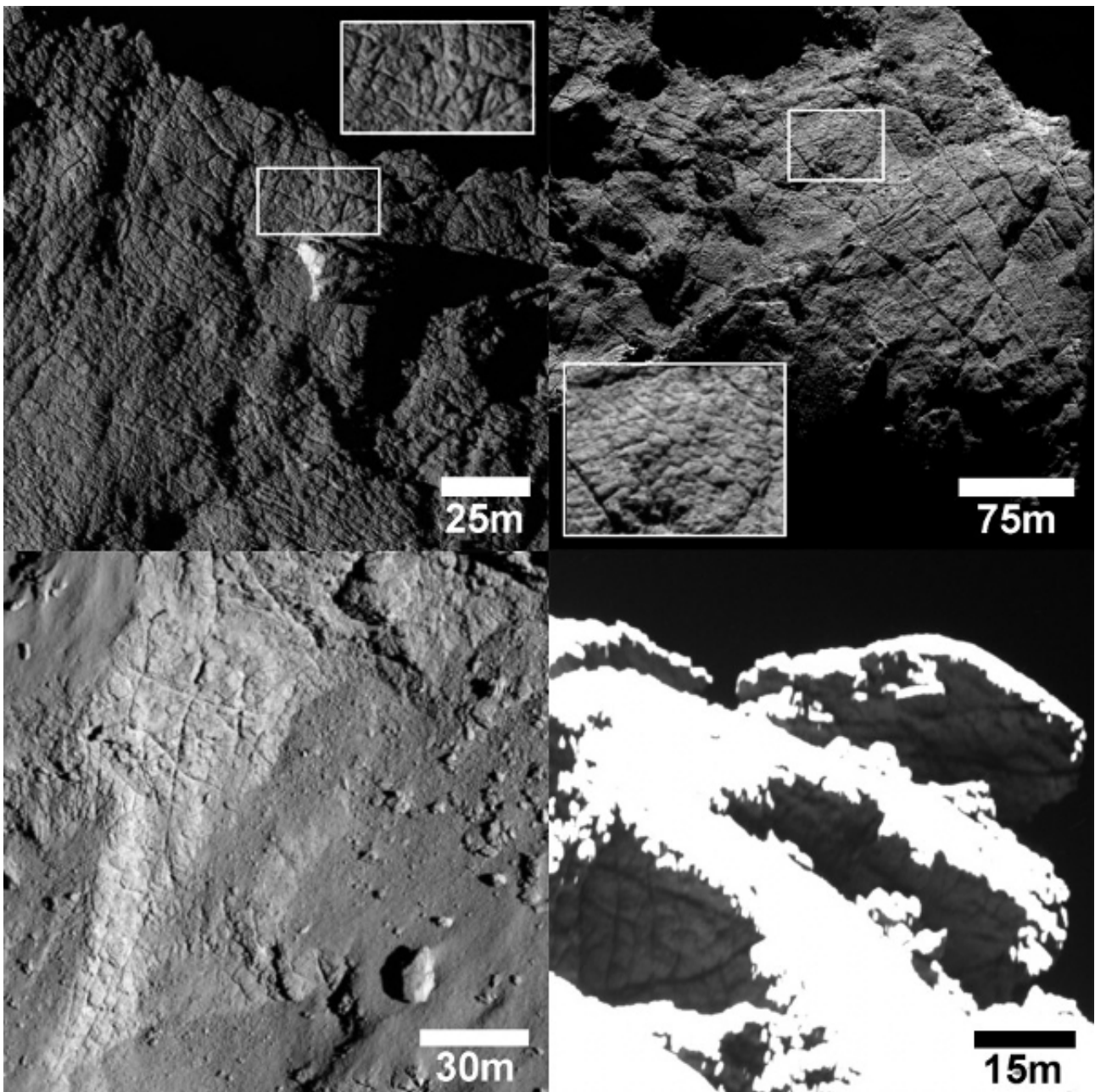
7. Températures et fractures

FIGURE 6. – Région d'Imhotep, entre le 24 mai et le 11 juillet. On voit le paysage se modifier suite à l'activité de la comète. Crédits : [ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS Team MPS/UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/DASP/IDA](#) ↗ .

7. Températures et fractures

La variation des températures se fait sur toute la comète. En plus des effets locaux vus au-dessus, on a observé également des effets sur une large partie de la comète.

Les changements de température provoquent un stress mécanique, dû aux compressions et dilatations. On observe ainsi un réseau de fractures de l'ordre d'une dizaine de mètres.



8. Remerciement

FIGURE 7. – Fractures dans les régions (resp. de droite à gauche, puis de haut en bas) Apis, Atum, Nut et à la frontière entre Anubis, Atum, Ash et Seth. Des fractures dans plein de régions, donc. Crédits : [ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS Team MPS/UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/DASP/IDA](#) ↗ .

Ces fractures sont le résultat d'échauffements et refroidissements rapides de la comète. Les parties exposées au Soleil ne sont pas les mêmes tout le temps. En l'absence d'atmosphère, les zones exposées se réchauffent sitôt éclairées et se refroidissent sitôt dans l'ombre (quasiment pas d'inertie thermique sur les comètes). La durée d'un jour étant court (une journée complète fait 12 heures), la comète subit de nombreux chocs thermiques, d'où l'apparition des fractures.

On peut déduire de la forme et de la direction des fractures le sous-sol de la comète : des fractures se rejoignant par des angles à 90 ° étant associé à la contraction de la glace (tout du moins sur Terre et sur Mars).

Ces fractures jouent très probablement un rôle important dans l'évolution de la surface de la comète.

Voilà pour la surface de Tchouri. Comme vous avez pu le constater, la surface de Tchouri a été fortement altérée par l'approche du Soleil. L'ESA a lancé à ce sujet un [appel à contribution](#) ↗ ; il s'agit de comparer les images avant et après l'approche du Soleil pour pointer les modifications de Tchouri qui auraient échappé aux chercheurs.

Cet article sera suivi d'un autre très prochainement, dans lequel nous parlerons plus avant des poussières, de la chevelure de la comète, et bien sûr de ce que la mission Rosetta nous réserve pour l'avenir.

Édit du 15 juin 2016 : l'article suivant est [maintenant en ligne](#) ↗ .

8. Remerciement

Je tiens à remercier [Algue-Rythme](#) ↗ et [Yiraa](#) ↗ pour leurs relectures attentives lors de la bêta et [Aabu](#) ↗ pour la validation !

9. Sources

Vous trouverez ci-dessous, rangés par thème (dans l'ordre d'apparition dans cet article), tous les articles scientifiques et billets de blog ayant permis d'écrire cet article. Ils sont classés par thème, et au sein d'un thème, par lisibilité. N'hésitez pas une seconde à en lire.

© Contenu masqué n°1

10. Licence

Sauf mention explicite, les images provenant de l'ESA sont soumises à la licence suivante :

© Contenu masqué n°2

Contenu masqué

Contenu masqué n°1

Billet de blog d'Éric Simon sur Philae [↗](#) .

Billet de blog de l'ESA sur les données acquises par Philae (en anglais) [↗](#) .

Billet de blog de l'ESA avec notamment le résumé de chaque appareil (en anglais) [↗](#) .

Billet de blog d'Éric Simon sur la densité [↗](#) .

Billet de blog de l'ESA sur la densité (en anglais) [↗](#) .

Article scientifique chez *Science* sur la densité (payant, en anglais) [↗](#) .

Billet de blog de l'ESA sur la magnétisation de Tchouri (en anglais) [↗](#) .

Billet de blog d'Éric Simon sur les trous [↗](#) .

Billet de blog de l'ESA sur le lien entre trous et jets (en anglais) [↗](#) .

Article scientifique chez *Science* sur le lien entre trous et jets (payant, en anglais) [↗](#) .

Billet de blog de l'ESA sur la modification d'Imhotep (en anglais) [↗](#) .

Article scientifique chez *Astronomy and Astrophysics* sur la modification d'Imothepe (en anglais, libre accès) [↗](#) .

Billet de blog de l'ESA sur les poussières et dunes (en anglais) [↗](#) .

Article scientifique sur les poussières chez *Astronomy and Astrophysics* (en anglais, payant) [↗](#) .

Billet de blog de l'ESA sur le changement de couleur (en anglais) [↗](#) .

Article scientifique sur le changement de couleur chez *Science* (en anglais, libre accès) [↗](#) .

[Billet de blog de l'ESA sur les fractures \(en anglais\) ↗](#) .

[Article scientifique sur les fractures chez *Geophysical Research Letters* \(en anglais, payant\) ↗](#) .
Version mise à disposition gratuitement par l'auteur (toujours en anglais) ↗ . [Retourner au texte](#).

Contenu masqué n°2

ESA's Space in Images contains images used throughout the ESA Portal. The images are offered in this website in the highest resolution available.

Most images have been released publicly from ESA. You may use ESA images or videos for educational or informational purposes. The publicly released ESA images may be reproduced without fee, on the following conditions :

- Credit ESA as the source of the images. Examples : Photo : ESA ; Photo : ESA/Cluster ; Image : ESA/NASA - SOHO/LASCO
- ESA images may not be used to state or imply the endorsement by ESA or any ESA employee of a commercial product, process or service, or used in any other manner that might mislead.
- If an image includes an identifiable person, using that image for commercial purposes may infringe that person's right of privacy, and separate permission should be obtained from the individual.
- Some images contained in this website have come from other sources, and this is indicated in the Copyright notice. For re-use of non-ESA images contact the designated authority.
- If ESA images are to be used in advertising or any commercial promotion, layout and copy must be submitted to ESA beforehand for approval to : spaceinimages@esa.int

[Retourner au texte](#).

Liste des abréviations

UA Unité Astronomique. Il s'agit de la distance entre la Terre et le Soleil. C'est plus pratique que de parler en centaines de milliers de kilomètres !. [1](#)