

ARTICLE DE FOND

Vision stéréoscopique du noyau de la comète Churyumov-Gerasimenko

David ROMEUF (Université Lyon 1), Philippe LAMY (Laboratoire d'Astrophysique de Marseille)

David Romeuf, spécialiste des anaglyphes et Philippe Lamy, l'un des concepteurs de la caméra OSIRIS-NAC de la mission Rosetta, nous expliquent comment ils ont réalisé des images en 3D de la comète.

La mission Rosetta de l'agence spatiale européenne (ESA) a rempli sa mission : passer deux ans, d'août 2014 à septembre 2016, en orbite autour de la comète 67P/Churyumov-Gerasimenko¹, afin d'observer son noyau très en détail, de déterminer sa composition, de comprendre les mécanismes de l'activité cométaire et leur évolution et d'évaluer leur impact sur la surface du noyau.

C'est l'imagerie du noyau obtenue par les caméras de navigation de l'ESA (NAVCAM) et celles de l'expérience scientifique OSIRIS qui a le plus directement passionné le grand public. C'est plus particulièrement la caméra à haute résolution spatiale OSIRIS-NAC conçue, développée et réalisée par le Laboratoire d'astrophysique de Marseille (CNRS / Aix-Marseille Université) en partenariat avec la société ASTRIUM et plusieurs laboratoires européens qui s'est illustrée : environ 25 000 images du noyau de la comète à différentes distances et donc, à différentes résolutions spatiales, depuis l'image globale du noyau bilobé jusqu'à des détails topographiques de quelques centimètres sur différentes régions du noyau. Ces observations sans précédent ont permis de détecter de nombreuses morphologies diverses et variées, depuis des terrains lisses et plats jusqu'à des falaises « rocheuses » et escarpées, en passant par de larges zones d'éboulis ou d'autres couvertes de structures polygonales.

Beaucoup ont été obtenues en séquence ce qui permet, grâce au déplacement de la sonde Rosetta, de disposer de paires stéréoscopiques qui fournissent des anaglyphes. La visualisation 3D, outre que spectaculaire, offre un outil remarquable pour l'analyse et l'interprétation de la morphologie de la surface. Rappelons que l'approche classique de la géomorphologie est avant tout descriptive.

¹ NDLR : il s'agit ici de la transcription anglophone des noms des deux découvreurs Чурюмова и Герасименко, on écrit aussi en français Tchourioumov-Guérassimenko.

Il importe d'avoir une perception correcte des différentes structures topographiques et la vision 3D par anaglyphes apporte à l'évidence la troisième dimension absente des images 2D, permettant en particulier de distinguer les différents plans. Une approche quantitative est cependant possible par la construction de modèles numériques de terrain qui fournissent la topographie en 3D. Elle requiert un grand nombre d'images prises dans des conditions géométriques différentes ce qui n'est pas toujours le cas compte tenu des contraintes opérationnelles. Elle est très gourmande en temps de calcul et ne donne pas toujours des résultats satisfaisants lorsque la topographie est complexe. De fait les deux approches ne doivent pas être envisagées comme concurrentes mais comme complémentaires. Par ailleurs, l'analyse par anaglyphe a été appliquée à la visualisation 3D des jets de poussières émis par la comète ce qui n'est guère possible par d'autres méthodes.

Cependant, une image en relief doit respecter quelques règles de base pour être agréable à regarder et ne pas provoquer le rejet du spectateur. Ces règles sont en fait imposées par les limites physiologiques du cerveau avec deux yeux séparés en moyenne de 6,5 cm comme base stéréoscopique, ce que le montage du document final stéréo doit reproduire. Le réglage optimal de la prise des vues (couple stéréoscopique) sera fonction de la dimension de restitution (moniteur d'ordinateur, écran de cinéma...) et des distances respectives du premier plan et du fond (dit « des infinis ») par rapport à la caméra, la focale de l'objectif... Il est primordial que les deux images du couple soient temporellement cohérentes, c'est-à-dire prise exactement au même moment dans le cas d'objets mobiles dans la scène. Notre cerveau reçoit deux images simultanément de nos yeux, sans décalage temporel qui ferait qu'un objet mobile se serait déplacé du lobe gauche au lobe droit car il perdrait sa position absolue au temps t.

Avec une seule caméra (OSIRIS-NAC), les images sont forcément prises en deux temps. La base stéréoscopique correspond donc au déplacement de ROSETTA sur son orbite durant ce laps de temps (distance entre les deux prises de vue – comme la distance entre nos deux yeux), et la rotation intrinsèque de la comète. L'incohérence temporelle stéréoscopique est donc provoquée majoritairement par la rotation intrinsèque du noyau cométaire qui va modifier la taille des ombres portées, et par l'orientation entre les deux images du couple, des parties qui deviennent visibles ou invisibles d'une image à l'autre.

Cette incohérence se traduit par la limite des ombres qui « vibrent » dans la stéréo-photographie. Le cerveau a alors du mal à situer la position et la projection des ombres sur le sol, il y a une incohérence entre l'image de l'œil gauche et l'image de l'œil droit. On peut tenter de diminuer artificiellement l'effet au moment du seuillage de l'image en débouchant les ombres et en réduisant le contraste. Il est surtout plus efficace de retoucher les ombres de l'une sur l'autre en prenant l'empreinte de la surface d'ombre la plus grande pour la reporter en noir dans l'image homologue du couple. Ainsi, il n'y a pas de détails d'objets autour d'une ombre qui n'apparaissent pas dans l'autre image du couple, le cerveau a une « solution » dans les deux images.

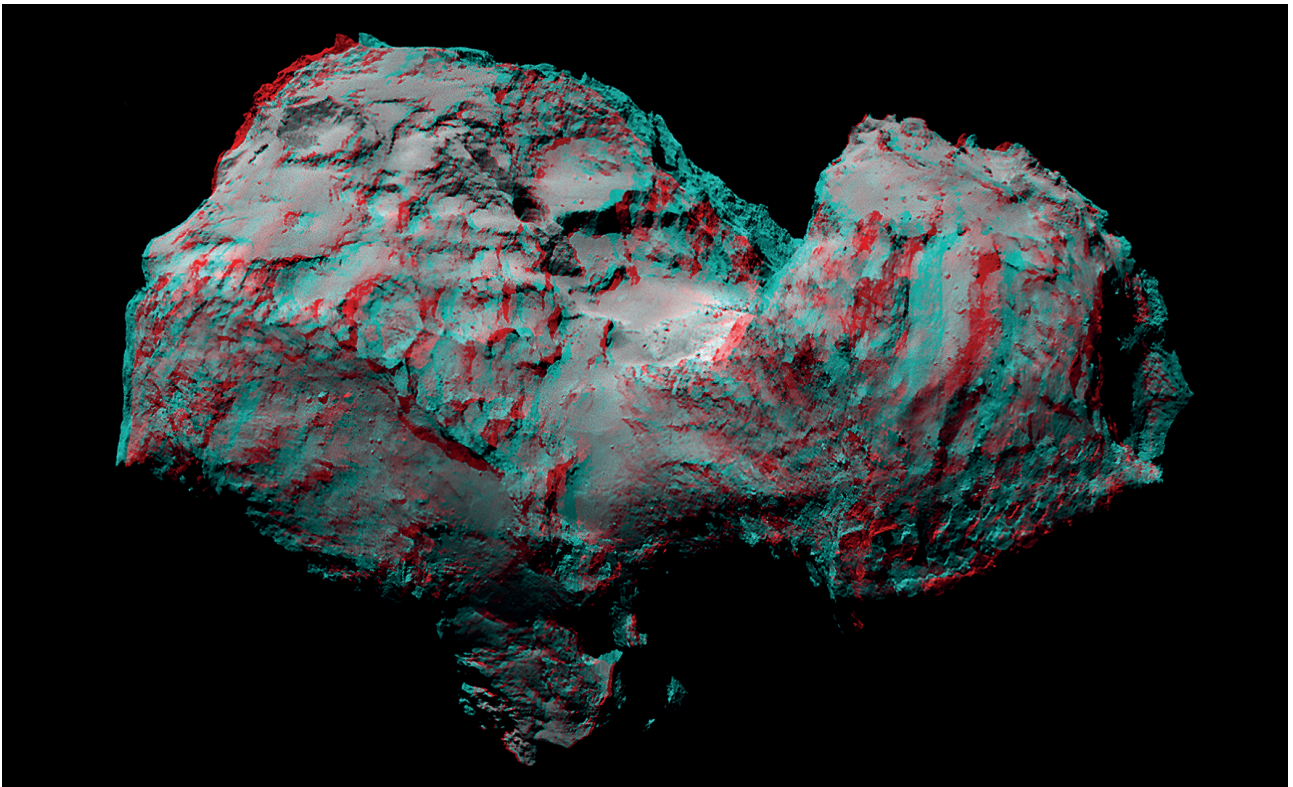
Nous avons sélectionné des couples stéréoscopiques espacés typiquement de 10 à 30 minutes lors d'un balayage. Une fois que les deux images du couple sont repérées, nous devons monter le document stéréoscopique en respectant les limites du cerveau. L'écart moyen de nos yeux (6,5 cm) fait que nous avons l'habitude d'un certain décalage (parallaxe) entre les deux images. La zone de confort est avec une parallaxe d'environ 2° pour l'objet le plus proche (si on va très au-delà, l'image est déformée : une sphère sera perçue comme un ellipsoïde dans le sens de la profondeur). La limite supérieure est approximativement de 4° pour une stéréo-reproduction sur un écran d'ordinateur. Nos yeux ne peuvent que très peu diverger et il faut donc veiller à ce que les plans les plus éloignés (les infinis) ne soient pas écartés de plus de 6,5 cm sur l'écran de projection ou le document de restitution.

Comme nous ne contrôlons pas totalement les paramètres de prise de vue sur l'orbite de ROSETTA, nous n'avons pas des documents qui soient directement superposables. Nous devons orienter les deux images à l'horizontale par une rotation qui correspond à la direction du balayage de la sonde

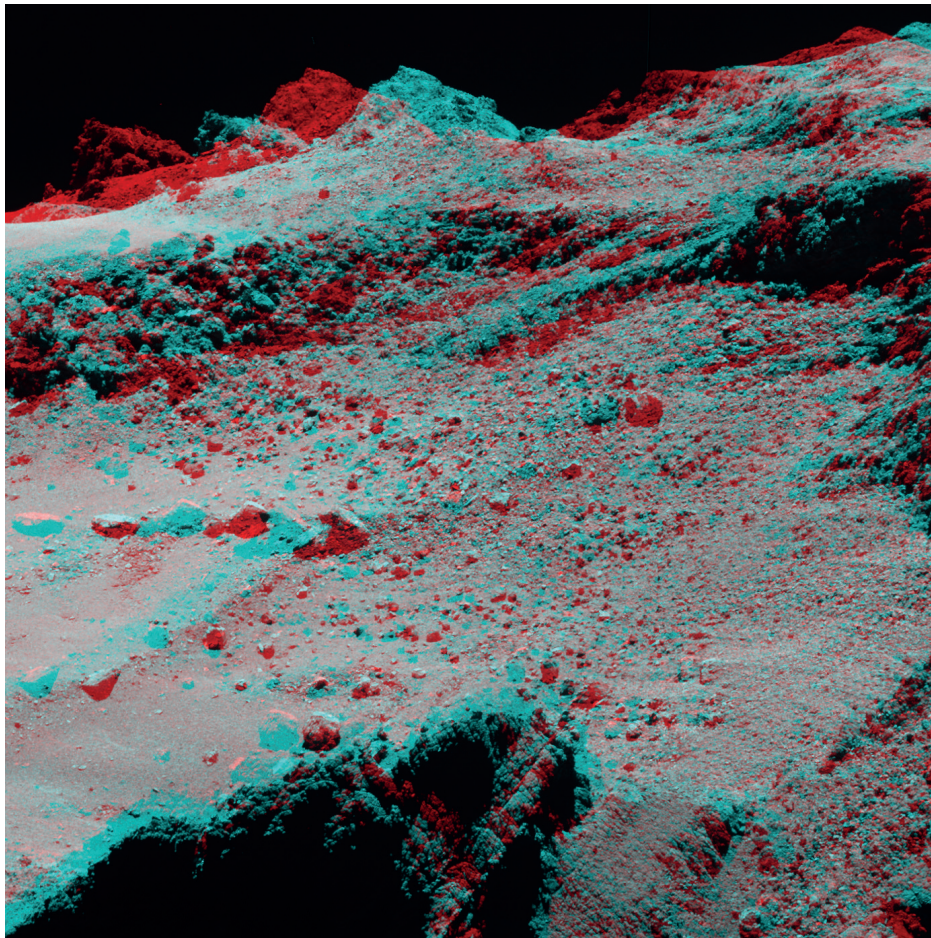
(nous ne regardons pas naturellement avec la tête penchée) pour observer le document comme si nos yeux étaient tous les deux confondus avec l'orbite de la sonde, avec la tête perpendiculaire à l'orbite de ROSETTA. Une fois cette rotation opérée, il faut décaler verticalement une image par rapport à l'autre afin que les détails de l'une soient à la même hauteur que l'autre (nos 2 yeux étant à la même hauteur !). Le décalage horizontal entre les deux images du couple dans le montage est le plus critique car il va fixer le placement de l'objet en profondeur par rapport à l'observateur. L'objet peut alors être placé devant l'écran (jaillissement) ou derrière l'écran, ou encore à une position intermédiaire. Dans le cas d'un montage avec un jaillissement, il faut veiller à ce que les points de l'objet devant l'écran soient strictement présents sur les deux images du couple (pas plus d'information sur l'œil gauche que l'œil droit et vice-versa). Dans le cas contraire, il se produira une sensation désagréable pour le cerveau que l'on nomme la violation de fenêtre stéréoscopique. En effet, un observateur devant une fenêtre regarde le paysage derrière la fenêtre avec forcément des zones invisibles d'un œil à l'autre du fait du décalage horizontal de ses yeux et la coupure par les bords de la fenêtre, mais parfaitement visibles des deux yeux pour les objets devant la fenêtre et délimité par ses bords (pour un observateur parfaitement centré). Pour éviter ce problème, les stéréophotographes montent souvent le document stéréo-reproduit de manière à placer la scène derrière l'écran car on peut facilement placer le cerveau devant une contradiction ou incohérence à l'avant.

La dernière opération consiste à couper les zones incohérentes et non-homologues d'une image à l'autre du couple avec un logiciel de retouche (supprimer l'information qu'il y a en trop à l'avant en jaillissement, supprimer les zones qui ne se recouvrent pas totalement à l'arrière, supprimer les impacts des rayons cosmiques ou défauts cosmétiques qui apparaissent trop fortement sur une image et pas l'autre). Cette dernière étape est primordiale pour le confort d'observation du document stéréoscopique (anaglyphe, MPO pour TV 3D...).

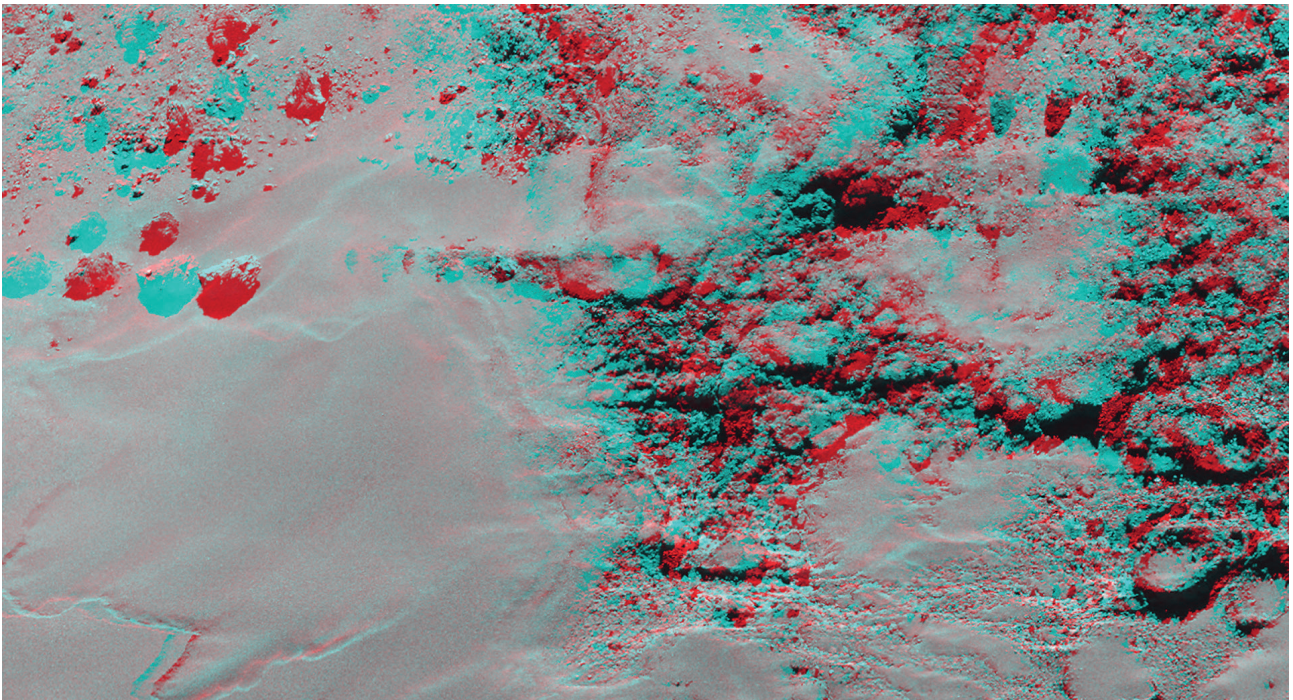
L'anaglyphe est le document stéréoscopique le plus répandu. Il permet le transport du relief par la couleur. L'image correspondant à l'œil gauche est codée dans le rouge, l'image correspondant à l'œil droit dans le cyan. De simples lunettes équipées de filtres permettent à chaque œil de visualiser les images correspondantes. La fusion des deux images par le cerveau permet alors de représenter le relief de la scène en niveaux de gris.



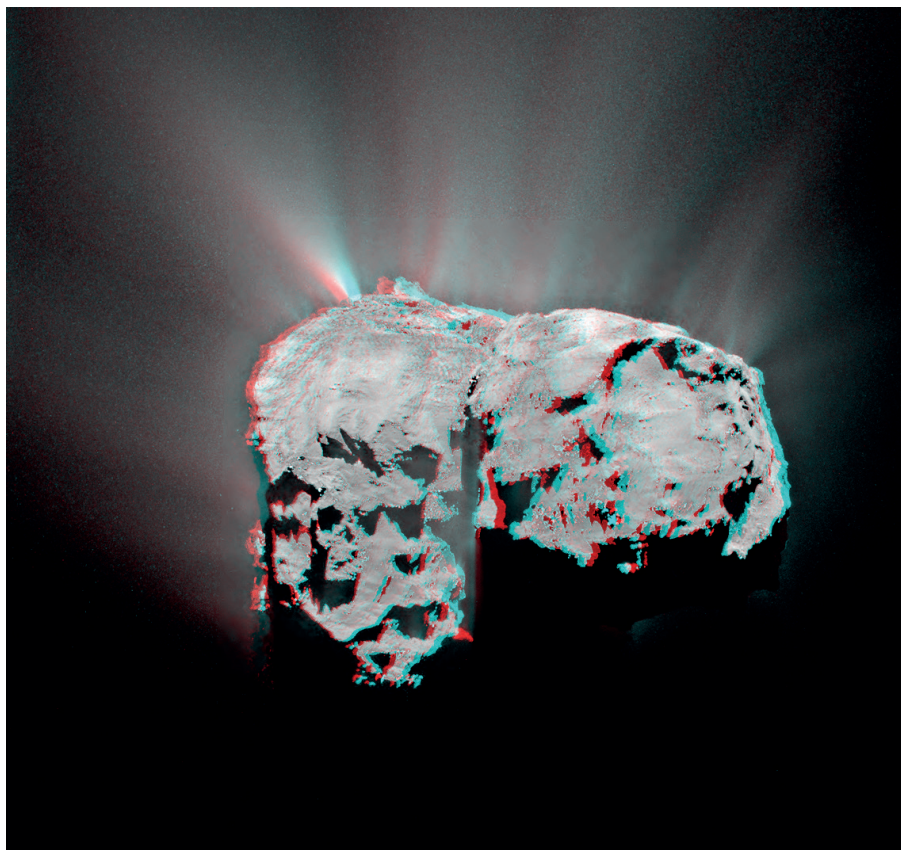
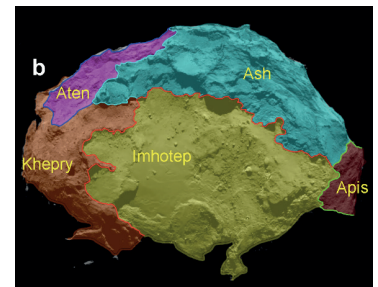
Le noyau bilobé de 67P observé le 8 août 2014.



Cet anaglyphe montre une grande partie du bassin de Hatmehit recouvert de très beaux dépôts et de rochers, entouré d'un bord fortement dégradé.



Cet anaglyphe montre un terrain dans Imhotep, une région caractérisée par une grande variété de morphologies de surface. Les deux caractéristiques principales remarquables sont les terrains lisses du côté inférieur gauche et les caractéristiques arrondies au centre, éventuellement interprétées comme des conduits de dégazage anciens par Auger et al. (2015).



Forêt de jets observée le 12 novembre 2015.

