



12. LE TRICOT CI-DESSUS EST INSPIRÉ d'un diagramme figurant dans le manuel de topologie algébrique d'Allen Hatcher. La structure est celle d'une tige dont la section est un Y aux bras de même longueur, la tige étant recourbée pour joindre l'une de ses deux extrémités à l'autre, après une torsion d'un tiers de tour. La surface

ainsi obtenue ne comporte qu'un seul bord continu. L'ouvrage est ici renforcé avec du fil de fer pour mieux montrer sa structure. Le tricot de droite est mathématiquement identique, mais il est dépourvu d'armature métallique et est dimensionné pour être porté comme un capuchon.

(en pratique, je le fais souvent inconsciemment). Les objectifs choisis imposent des contraintes sur le tricotage. Cela me donne un cadre pour concevoir le tricotage de l'objet dans sa structure globale.

Je dois ensuite considérer la structure fine de cet objet. Y a-t-il des aspects particuliers des mathématiques que l'on peut mettre en valeur avec de la couleur ou un motif? Des textures particulières sont-elles nécessaires? Pendant la résolution du problème de discrétisation qui s'ensuit, je produis habituellement un modèle que je peux suivre – j'ai mauvaise mémoire et sans cela je perdrais tout mon travail.

Se coiffer d'une bande de Möbius généralisée

Une création mathématique récente peut illustrer cela. Un jour, un dessin figurant dans le livre *Algebraic Topology* de Allen Hatcher (en accès libre sur Internet) attira mon regard; il me semblait que si la surface représentée était tricotée, le résultat serait formidable. Sa structure est celle d'une tige dont la section est un Y ayant ses trois bras de même longueur, la tige étant recourbée sur elle-même de façon à ce que ses deux extrémités se rejoignent, mais après une torsion de la tige d'un tiers de tour. On obtient ainsi une sorte de bande circulaire qui n'a qu'un seul bord continu (le doigt peut continûment parcourir le bord dans sa totalité et revenir au point de départ).

Bien que cette surface ne constitue pas une variété (il n'est pas possible d'associer un système de coordonnées univoque aux points de l'axe central de la tige), elle res-

semble à une bande de Möbius – c'en est une généralisation. J'ai donc pensé que je pouvais utiliser une construction similaire à celle d'une bande de Möbius – à condition de trouver une façon de tricoter vers l'extérieur, à partir du cercle central (l'axe circulaire de la tige en Y).

Je souhaitais que l'objet tricoté soit fait à partir d'une pelote unique de fil, l'objet mathématique n'ayant qu'un seul bord. Je devais ainsi trouver une façon d'utiliser un seul fil pour produire trois ensembles entrelacés de mailles libres (un tricot ordinaire n'a que deux ensembles de mailles, supérieur et inférieur, par fil). Après avoir résolu ce problème – et cela m'a pris du temps –, je décidai d'utiliser une texture qui aurait le même aspect à partir de tous les points de vue, de sorte que le cercle central serait moins visible. Pour ma première tentative, j'ai décidé de faire simple et je n'ai pas ajouté davantage de conditions (voir la figure 12).

Après avoir terminé ma première réalisation, je l'ai examinée et me suis rendu compte qu'elle ressemblait à un capuchon. J'ai redimensionné la version suivante afin de produire un véritable vêtement. Un objet mathématique que l'on peut porter est un résultat pratique rare, et bienvenu!

Bien que j'aie travaillé sur différents projets de tricot mathématique, je n'en ai pas encore fini avec mes modèles de bouteille de Klein – et cela fait environ 20 ans que j'ai commencé. On m'a demandé d'adapter ma construction pour en faire un chapeau qui puisse être porté. C'est l'un des nombreux défis de tricot mathématique que je compte bien relever. ■

■ SUR LE WEB

The Home of Mathematical Knitting [site Web de l'auteur] : www.toroidalsnark.net/mathknit.html

■ BIBLIOGRAPHIE

S.-M. Belcastro et C. Yackel (éds.), *Crafting by Concepts: Fiber Arts and Mathematics*, AK Peters, 2011.

S.-M. Belcastro, *Every topological surface can be knit: A proof*, *Journal of Mathematics and the Arts*, vol. 3(2), pp. 67-83, 2009.

S.-M. Belcastro et C. Yackel (éds.), *Making Mathematics with Needlework: Ten Papers and Ten Projects*, AK Peters, 2007.

M. O. Reid, *The knitting of surfaces*, *Eureka - The Journal of the Archimedeans*, vol. 34, pp. 21-26, 1971.

Des

VOLS SPATIAUX

pour tous

Alan Stern

L'espace de demain ne sera pas réservé uniquement aux touristes fortunés. Pour les chercheurs, l'industrie spatiale commerciale naissante ouvre des possibilités nouvelles, moins chères et variées.

L'un des problèmes les plus frustrants de la recherche spatiale est le mode d'accès à l'espace, qui n'a pas changé depuis 50 ans. Aller dans l'espace reste à la fois cher et rare. Nous sommes encore loin du stade où les scientifiques iront régulièrement en orbite pour utiliser eux-mêmes leurs instruments de mesures. D'ailleurs, certaines régions de la haute atmosphère ne sont aujourd'hui accessibles que par des systèmes automatisés.

Tout cela devrait bientôt changer. L'avènement de vols spatiaux commerciaux réguliers à but lucratif (récemment illustré par les lancements réussis du vaisseau cargo spatial *Dragon*, construit et exploité par *SpaceX*, vers la Station spatiale internationale, l'ISS) transformera probablement la recherche spatiale. Les scientifiques bénéficieront de coûts de lancement réduits, d'un accès plus fréquent à l'espace et de la possibilité de réaliser eux-mêmes leurs expériences en orbite. Ces avancées rendront certainement service aux grandes missions de recherche de la NASA et des agences spatiales japonaise

L'ESSENTIEL

■ **Le coût et la rareté des vols vers l'espace ont été des obstacles au développement de la recherche spatiale.**

■ **Des sociétés privées annoncent une ère de vols spatiaux moins chers et plus fréquents.**

■ **Bien que la plupart de ces entreprises aient pour objectif premier d'envoyer des touristes dans l'espace, les chercheurs pourront y trouver une place pour eux et leurs expériences.**

■ **Ces sociétés espèrent, à terme, atteindre la Lune ou Mars...**

et européenne. Et elles rendront l'espace plus abordable pour de nombreux pays, institutions académiques et entreprises.

J'ai commencé à m'intéresser au potentiel des vols spatiaux commerciaux lorsque j'étais administrateur adjoint de la NASA, en charge de toutes les études scientifiques spatiales et terrestres. Depuis, j'ai été conseiller pour des sociétés spatiales commerciales, directeur scientifique de deux équipes participant au *Google Lunar X PRIZE* (qui récompensera d'une bourse de plus de 30 millions de dollars la première mission robotisée qui se posera sur la Lune et renverra une vidéo vers la Terre) et me suis occupé d'achats de vols habités commerciaux pour la recherche à travers mon institution. Autrement dit, j'ai vu grandir de mes propres yeux la promesse des vols spatiaux commerciaux.

Dans les années à venir, toute une panoplie de systèmes spatiaux commerciaux entrera en service et offrira un éventail de possibilités très intéressantes pour les chercheurs. C'est une nouvelle étape pour les sciences spatiales, qui ont débuté au



lendemain de la Seconde Guerre mondiale avec la conversion en plates-formes de recherche des fusées V2 capturées à l'armée allemande. Depuis, les scientifiques ont toujours fait preuve d'inventivité pour faire avancer leurs travaux et envoyer leurs détecteurs dans l'espace. Les projets actuellement en développement s'inscrivent dans cette démarche des pionniers de l'espace. Si certains échouent, d'autres seront couronnés de succès. Dans le contexte actuel de restrictions budgétaires, de dépassements de coûts et de stagnation prolongée de l'accès à l'espace, ces succès ne seront jamais assez rapides à venir.

On peut raisonnablement parier qu'en matière d'exploration spatiale, les décennies 2010 et 2020 représenteront une période charnière aussi déterminante que les années 1950 et 1960. Nous assistons déjà à une révolution en marche. Entre les vols suborbitaux, qu'on qualifie souvent de voyages « touristiques » (mais qui proposent aussi des places pour les scientifiques), et les séjours en orbite sur la Station spatiale internationale ou au-delà, les années à venir vont transformer notre relation avec le monde encore mystérieux régnant juste au-dessus de la Terre.

Un avenir suborbital

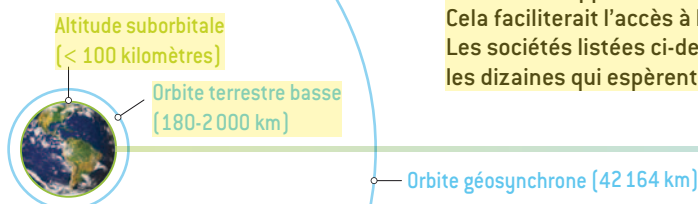
L'une des activités les plus productives (et, hélas, peut-être parmi les moins connues) de la NASA dans le domaine des vols spatiaux a été son programme suborbital, en place depuis des décennies. Dans ce cadre sont lancées chaque mois une ou deux missions courtes à bord de fusées non habitées « jetables », grâce auxquelles les chercheurs ont la possibilité de placer leurs instruments dans l'espace pendant quelques minutes jusqu'à 100 kilomètres d'altitude.

Malgré la brièveté de ces vols, ces missions suborbitales ont produit des résultats scientifiques clefs dans les domaines de la physique solaire, de l'étude des supernovae, de la science de la haute atmosphère, de l'astrophysique et de la recherche de comètes. En outre, ces vols sont très utiles pour tester les nouvelles techniques aérospatiales et des détecteurs avant leur intégration

1. LA FUSÉE FALCON 9 de SpaceX lance le vaisseau *Dragon* pour sa mission orbitale inaugurale en 2010. SpaceX est devenu depuis le symbole de nouveaux projets à destination de l'espace.

SPACEX

QUI NOURRIRA LA RÉVOLUTION DE LA RECHERCHE SPATIALE ?



Aller dans l'espace est une opération complexe. La recherche spatiale a longtemps été entravée par le coût élevé des vols et leur rareté. Mais toute une flottille appartenant à des entreprises privées est en train de voir le jour. Cela faciliterait l'accès à l'espace pour les chercheurs du monde entier. Les sociétés listées ci-dessous ne sont que les plus visibles parmi les dizaines qui espèrent promouvoir la présence humaine dans l'espace.

	VOL SUBORBITAL	VOL ORBITAL	VOL VERS LA LUNE	VOL DE LONGUE DURÉE
PRINCIPALES SOCIÉTÉS	<i>Armadillo Aerospace, Blue Origin, Virgin Galactic, XCOR Aerospace</i>	<i>SpaceX</i>	<i>Astrobot Technology, Moon Express</i>	<i>Bigelow Aerospace, Excalibur Almaz</i>
AVANTAGES PAR RAPPORT AUX VOLS CLASSIQUES	Les lanceurs réutilisables permettent d'augmenter le nombre de vols et ainsi de réduire le coût par vol. Les chercheurs pourront aussi accompagner leurs expériences dans l'espace.	<i>SpaceX</i> a conçu ses fusées <i>Falcon</i> et ses capsules <i>Dragon</i> en partant de zéro, en privilégiant la simplicité et la fiabilité. Les vols sur <i>Falcon 9</i> coûtent la moitié d'un projet similaire dans le cadre traditionnel.	De petits alunisseurs robotisés seront les premiers vaisseaux à se poser sur la Lune depuis 1976. Des projets sont en cours pour sonder la région du pôle Sud lunaire à la recherche de glace d'eau.	Les stations gonflables de <i>Bigelow</i> sont légères et ainsi plus faciles à envoyer dans l'espace que la Station spatiale internationale (ISS). Leur volume n'est pas limité par les capacités de la fusée.
SITUATION ACTUELLE DES PROJETS	Les premiers vols d'essai sont en cours. Les premiers passagers devraient effectuer leur vol à partir de 2014.	La fusée <i>Falcon 9</i> a déjà livré un vaisseau <i>Dragon</i> pour ravitailler la Station spatiale internationale, le premier de 12 vols de ce type prévus.	Le <i>Google Lunar X PRIZE</i> récompensera la première équipe qui posera un robot sur la Lune et renverra une vidéo sur la Terre. <i>Moon Express</i> , l'une des équipes, prévoit sa mission d'ici 2015.	<i>Bigelow</i> a commencé à tester des stations prototypes en orbite terrestre basse en 2006. La NASA a annoncé qu'un module <i>Bigelow</i> sera attaché à l'ISS en 2015.

MASA

à des missions coûtant plusieurs milliards de dollars, et ils ont servi à former un nombre considérable d'expérimentateurs spatiaux, notamment des astronautes, des spécialistes de l'atmosphère et des chefs de mission planétaire.

Bien que la communauté scientifique réclame depuis plus de 20 ans une augmentation importante de la fréquence des vols, le rythme de lancement du programme suborbital de la NASA est resté désespérément faible. Les raisons en sont nombreuses, mais sont surtout liées à leur coût. Le prix d'une de ces missions tourne autour de 2,5 millions de dollars, ce qui exclut des fréquences de lancement beaucoup plus élevées dans le cadre du budget de ce programme.

L'entrée en scène de nouveaux véhicules suborbitaux réutilisables, construits par des entreprises telles que *XCOR Aerospace*, *Virgin Galactic*, *Armadillo Aerospace*, *Masten*

Space Systems et *Blue Origin*, devrait améliorer à la fois le rythme et la productivité de la recherche suborbitale.

Multiplier le nombre de vols

Comment est-ce possible ? Tout d'abord, en faisant voler des lanceurs réutilisables et non jetables, ces compagnies peuvent réduire les coûts de façon substantielle et augmenter leur fréquence. À elles deux, ces avancées complémentaires auront le même effet sur la recherche spatiale que la révolution des ordinateurs personnels sur l'informatique : créer une révolution de l'accès.

La NASA effectue à l'heure actuelle entre 20 et 25 lancements suborbitaux par an. Le fournisseur de vol suborbital *Virgin Galactic* prévoit que son premier véhicule volera à terme une fois par jour. Et chaque vol sera capable d'emporter six lots de

matériel ou six chercheurs (ou un mélange des deux). Cette société pourrait à elle seule autoriser environ 2 000 expériences par an.

Mais *Virgin Galactic* n'est pas seule sur ce nouveau marché. *XCOR Aerospace*, un sérieux concurrent, envisage de procéder à quatre lancements par jour avec chacun de ses véhicules réutilisables, dont plusieurs ont déjà été loués à des pays tels que la Corée du Sud et l'État de Curaçao, une île antillaise. Imaginez la rapidité des progrès que les chercheurs peuvent espérer avec des vols aussi fréquents ! Les physiologistes, par exemple, pourraient récupérer tous les ans des centaines de jeux de données pour mesurer les effets de l'impesanteur sur les astronautes, contre une poignée d'études de ce type aujourd'hui.

Bien sûr, l'augmentation de la fréquence des vols ne suffit pas à elle seule à faire une révolution. L'autre atout clef de ces systèmes réutilisables est leur coût infé-