

phère : comprendre comment se comporte cette couche est donc aussi important pour les communications et la science que l'étude des océans l'est pour le commerce mondial. Or les gros satellites évoluant sur des orbites plus hautes ne peuvent pas observer directement la thermosphère ; ils la voient coincée entre l'exosphère (la dernière couche de l'atmosphère terrestre) et la mésosphère (entre 50 et 100 kilomètres d'altitude environ), tandis que les instruments des fusées sondes prennent des mesures directes, mais seulement le long de la trajectoire de la fusée et durant quelques minutes...

Le premier CubeSat de la thermosphère à atteindre l'espace a été le *SwissCube* de la Suisse, lancé fin 2009. Le *SwissCube* mesure et cartographie la lumière du ciel nocturne, c'est-à-dire la faible émission de lumière issue de réactions chimiques et physiques dans la haute atmosphère, afin d'aider les scientifiques à mieux comprendre ses causes et à la filtrer plus efficacement lorsqu'ils étudient d'autres phénomènes atmosphériques ou terrestres.

L'innovation la plus révolutionnaire apportée par les CubeSats a peut-être été l'introduction d'un nouveau modèle économique dans le domaine spatial. Les CubeSats étant lancés « en seconde classe » dans une fusée affrétée pour une autre mission, les équipes font des économies et partagent les frais. La contrainte principale devient la date de lancement, qui est imposée. En outre, grâce aux faibles coûts, l'échec est mieux toléré tout au long de la conception et du développement : si un CubeSat explose sur l'aire de lancement ou ne se déploie pas dans l'espace, c'est très décevant, mais pas catastrophique (et il y a des ratés : 14 CubeSats ont été perdus à cause d'une panne de fusée en 2006, et 9 autres n'ont pas établi le contact avec la station au sol ou de façon très limitée). Lorsque des satellites classiques sont lancés, plusieurs millions d'euros sont en jeu, contre 70 000 euros pour les CubeSats.

Des satellites jetables

Certaines équipes vont plus loin : elles placent délibérément leurs CubeSats sur des orbites autodestructrices, afin que ceux-ci retombent et se consomment dans l'atmosphère une fois leur mission terminée. « Les CubeSats peuvent aller à des endroits où leur durée de vie sera courte », note J. Puig-Suari. « Je peux faire un satellite jetable que j'enverrai dans des lieux dangereux. Non seulement sa perte n'est pas un problème, mais on peut l'utiliser à notre avantage. »

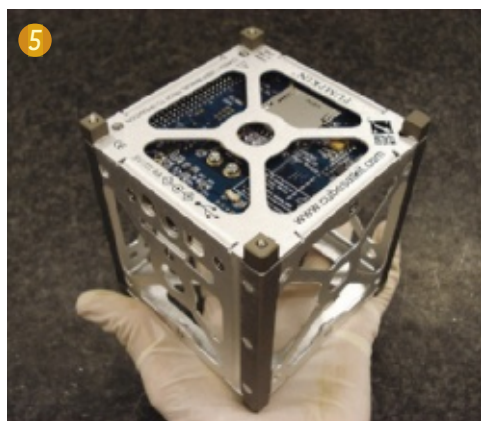
Deux exemples de cette approche sont des missions à la conception desquelles B. Twigg a contribué. La première est une collaboration d'équipes européennes, asiatiques et américaines appelée QB50. Le consortium va lancer 50 CubeSats 2U à la limite externe de la thermosphère. Sur plusieurs mois, à mesure que les frottements de l'atmosphère ralentiront les satellites, leurs orbites vont se dégrader, et ils vont recueillir des informations sur la composition chimique, la densité et la température de la thermosphère à des altitudes de plus en plus basses, jusqu'à ce qu'ils retombent sur Terre.

Le second exemple est une mission nommée POPACS (*Polar Orbiting Passive Atmospheric Calibration Sphere*). Trois CubeSats 3U seront lancés pour mesurer l'échauffement de l'atmosphère terrestre par les éruptions solaires. Tandis que les

Si un CubeSat explose sur l'aire de lancement ou ne se déploie pas dans l'espace, c'est très décevant, mais pas catastrophique.



NASA/Ames



Université de Liège, Belgique

✓ SUR LE WEB

Le site officiel du projet CubeSat : www.cubesat.org

Le site d'AMSAT, la corporation des satellites radioamateurs : www.amsat.org/amsat-new/

Le site du CubeSat *Robusta* réalisé à l'Université de Montpellier 2 : www.ies.univ-montp2.fr/robusta/

✓ BIBLIOGRAPHIE

CubeSat Design Specification Revision 12, California Polytechnic State University, 2009. Disponible sur Internet : www.cubesat.org/images/developers/cds_rev12.pdf

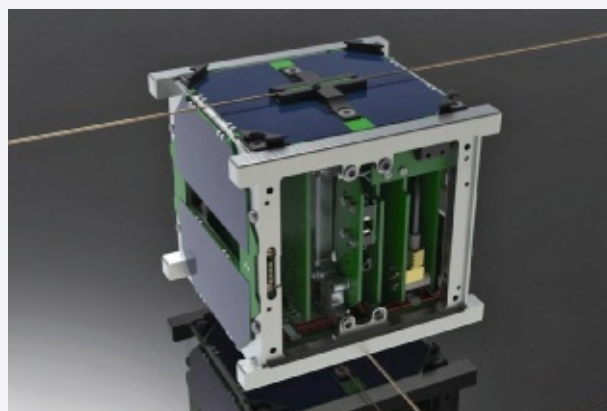
XaTcobeo, Robusta & co : les CubeSats européens

Avant la fin de l'année, le nouveau lanceur européen VEGA mettra sur orbite 9 CubeSats retenus parmi 22 candidats, tous conçus et fabriqués par des universités européennes. Le succès de cet appel à projets de l'Agence spatiale européenne montre que l'Europe n'est pas en reste : le phénomène CubeSat a initié un bouillon de culture technologique et scientifique d'où pourrait bien émerger la technologie spatiale de demain.

Limités en masse et en puissance, les CubeSats sont condamnés à l'innovation. Loin de brider la créativité, le standard CubeSat se trouve décliné en d'innombrables solutions technologiques au service d'une grande variété de missions, de la démonstration technologique aux véritables missions scientifiques. Ainsi, le CubeSat *XaTcobeo*, de l'Université de Vigo, en Espagne, va tester un système de déploiement de panneaux solaires et d'une antenne, ainsi qu'un dispositif de mesure des rayonnements ionisants et un nouveau système radio. Le CubeSat *E-ST@R*, de l'École polytechnique de Turin, en Italie, testera quant à lui un système de contrôle et de détermination de l'attitude du CubeSat. De même, *OUFTI-1*, de l'Université de Liège, en Belgi-

que, et *UWE-3*, de l'Université de Würzburg, en Allemagne, testeront diverses innovations techniques. Les CubeSats italiens *UNICubeSAT*, de l'Université de Rome, et *AtmoCube*, de l'Université de Trieste, vont étudier l'atmosphère terrestre au-dessus de 350 kilomètres d'altitude, tandis que *Goliath*, de l'Université de Bucarest, en Roumanie, prendra des photos de la Terre et détectera les micrométéorites et les rayons cosmiques.

Aujourd'hui, la communauté des CubeSats doit faire face à de nouveaux défis liés à l'accumulation des débris et à la saturation des orbites : la charte des débris spatiaux, dont la France est signataire, impose que tout satellite lancé soit désorbité en moins de 25 ans. Or, si un satellite placé sur une orbite basse redescend en quelques mois, ceux placés sur des orbites supérieures nécessitent une manœuvre de désorbitation que peu de CubeSats sont aujourd'hui capables d'effectuer. Plusieurs projets européens étudient cet aspect : l'Association française des radioamateurs AMSAT-F encadre *Libellule*, un projet étudiant de voile solaire qui se déploiera sur un triple CubeSat pour le freiner et le désorbiter. *PW-Sat*, de l'Université de technologie de Var-



Le CubeSat *Robusta*, de l'Université Montpellier 2.

sovie, en Pologne, testera un système similaire.

En outre, les CubeSats sont souvent construits à partir de composants commerciaux dont la fiabilité n'est pas garantie, vis-à-vis des rayonnements ionisants en particulier. De ce fait, l'espérance de vie d'un CubeSat est de quelques mois pour une occupation d'orbite de plusieurs années. En France, à l'Université Montpellier 2, le groupe RADIAC de l'Institut d'électronique du Sud (IES, UMR 5214, CNRS) étudie les effets des rayonnements ionisants sur les composants électroniques. De ces travaux est né *Robusta*, le premier CubeSat français. Pour répondre à l'appel à idée Expresso du

CNES, plusieurs composantes de l'université (la Faculté des sciences, l'IUT de Nîmes, l'école Polytech Montpellier) et trois unités mixtes de recherche Université Montpellier 2-CNRS (IES, LIRMM, LMGC) ont mis leur savoir-faire en commun. Le CubeSat *Robusta*, qui embarquera sur VEGA, validera dans l'environnement radiatif spatial réel une méthode de test des composants mise au point à l'IES. Parrainé par le CNES, *Robusta* est un projet d'enseignement et de recherche auquel plus de 250 étudiants de tous niveaux ont déjà participé.

Laurent Dusseau

Professeur à l'Univ. Montpellier 2
Coordinateur du projet *Robusta*

satellites traverseront l'atmosphère polaire, les scientifiques regarderont comment leurs orbites se dégradent ; ils espèrent ainsi mieux prédire la relation entre la thermosphère et l'activité solaire.

Place aux amateurs !

De façon générale, il est rare qu'un CubeSat soit envoyé seul, car sa petite taille et la faiblesse de son système de communication limitent fortement la quantité de données qu'il pourra recueillir. C'est notamment pour cette raison que la plupart des missions ont été effectuées avec des cubes doubles ou triples, et que les scientifiques expérimentent maintenant le déploiement de réseaux de CubeSats où les satellites se coordonnent et coopèrent, comme des oiseaux qui s'assemblent en vol pour migrer. Les développeurs travaillent sur les communications intersatellites, des systèmes permettant le vol en formation, et même

des câbles de plusieurs kilomètres pour maintenir les satellites groupés.

La DARPA (l'Agence américaine des projets de recherche avancée sur la défense), quant à elle, parraine un projet de recherche de 75 millions de dollars sur les réseaux de CubeSats pour comprendre dans quelles circonstances les CubeSats seraient à même de remplacer les satellites classiques. Des constellations stables de CubeSats pourraient même fournir une alternative aux grands instruments : Gil Moore, professeur émérite à l'Université d'État de l'Utah, nous voit bientôt capables de déployer de grands réseaux éparpillés qui remplaceront les télescopes spatiaux *Hubble* et *Webb*.

Pour étendre encore les capacités des CubeSats, Paulo Lozano, de l'Institut de technologie du Massachusetts, a développé un minuscule système de propulsion électronique qui permettrait aux CubeSats de changer d'orbite. D'autres

travaillent sur l'impression de composants de CubeSats pour réduire les coûts.

À terme, prédit Andrew Kalman, président et architecte technique en chef de la Société *Pumpkin*, les CubeSats seront pour les scientifiques comme des ordinateurs personnels, des fondations sur lesquelles les individus construiront leurs propres applications. Cette idée en suggère une autre encore plus révolutionnaire : si les CubeSats deviennent les ordinateurs personnels de la science spatiale (bon marché, flexibles, banalisés et standardisés), l'espace sera accessible aux amateurs. Cela pourrait arriver très vite : la jeune entreprise spatiale *Interorbital Systems* de Mojave, en Californie, projette d'offrir des kits de CubeSats et des lancements en orbite basse pour moins de 7000 euros. « Les amateurs auront une chance de participer », commente J. Puig-Suari. « Les gens vont commencer à construire leurs propres mini-*Hubble*. »

À découvrir en kiosque

et sur www.pourlascience.fr



120 pages - prix de vente : 6,95 €

La matière connue n'est qu'une goutte d'eau dans l'Univers. De quoi celui-ci est-il majoritairement constitué ? Que sont ces étranges matière noire et énergie sombre ? Comment imaginer le début et la fin de l'Univers ? Un titre indispensable pour faire le point sur les grandes questions de cosmologie.

→ Feuilletez les premières pages sur pourlascience.fr