

LES AUTEURS



Alex SOOJUNG-KIM PANG, docteur en histoire des sciences de l'Université de Pennsylvanie, est membre associé de la *Saïd Business School* de l'Université d'Oxford, en Angleterre. Bob TWIGGS, professeur à l'Université d'État de Morehead, dans le Kentucky, aux États-Unis, est l'un des créateurs du concept de CubeSat.

à la miniaturisation électronique et au développement des techniques de précision et de systèmes microélectromécaniques (notamment les minuscules accéléromètres que l'on trouve aujourd'hui dans de nombreux appareils, des *iPhone* aux airbags).

Dès la fin des années 1990, il semblait possible de créer des satellites fonctionnels ne pesant qu'un kilogramme, avec une taille qui réduirait les coûts de développement et de lancement et encouragerait les développeurs à concevoir de nouveaux types de missions. La NASA elle-même a encouragé les ingénieurs à proposer des approches meilleur marché de la science spatiale.

C'est dans ce contexte que l'un d'entre nous (Bob Twigg, alors à l'Université de Stanford) et Jordi Puig-Suari, à l'Université polytechnique d'État de Californie, se sont rendu compte que le concept de petit satellite ne décollerait pas sans un minimum de standardisation et sans partage des savoir-faire : il fallait suivre l'exemple des logiciels libres, qui avaient atteint à bon marché une notoriété mondiale simplement parce que leur code source était en libre circulation et améliorable par tous. C'est ainsi que les deux ingénieurs ont publié en 2000 le cahier des charges du CubeSat. Ce document de dix pages donne quelques recommandations simples : chaque unité doit être un cube de dix centimètres de côté (à un dixième de millimètre près) et donc occuper un volume de un litre. Par ailleurs, son poids ne doit pas dépasser un kilogramme. Les CubeSats peuvent également être rectangulaires, occupant le

volume de deux ou trois boîtes cubiques ; on parle alors de CubeSats 2U ou 3U (pour deux ou trois unités cubiques).

Un CubeSat est constitué d'un cadre métallique qui contient et protège l'électronique, les instruments, les systèmes de communications et d'alimentation. Les CubeSats sont en outre souvent équipés de panneaux solaires sur plusieurs côtés et d'une antenne extérieure ; certains seront sans doute bientôt dotés de systèmes de navigation rudimentaires, avec de minuscules tuyères capables de stabiliser l'attitude de vol de l'appareil et de l'orienter dans une direction donnée.

Des satellites conçus par des étudiants

Modulaires, les CubeSats sont lancés dans des châssis standards qui en contiennent plusieurs (à l'instar des bonbons dans un distributeur PEZ) et les éjectent une fois que la fusée a atteint l'orbite. En 2003, J. Puig-Suari a publié le plan d'un tel déployeur orbital, avec lequel il devenait possible de transporter et lancer en toute sécurité les CubeSats comme « passagers clandestins » sur les fusées lancées alors par les agences spatiales américaines et russes. La même année, l'entreprise *Pumpkin*, à San Francisco, a livré le premier kit commercial pour CubeSat – qui combine des composants prêts à l'emploi tels qu'une carte mère électronique, un cadre métallique, une batterie et des panneaux solaires – offrant un gain de temps aux scientifiques peu expérimentés en missions spatiales.

L'intérieur des CubeSats est aussi varié que les équipes qui les fabriquent. Ouvrez-en un et vous verrez un mélange de matériel aérospatial et de technologies disponibles dans le commerce ; des instruments scientifiques sur mesure ; du matériel recyclé de missions spatiales antérieures ; des équipements radio provenant de boutiques locales d'électronique ; ou du matériel informatique récupéré sur des micro-ordinateurs ou acheté sur *eBay*.

Depuis le début, les membres de la communauté CubeSat se sont appuyés sur l'expérience, les réussites et les astuces des uns et des autres ; les nouveaux arrivants apprennent vite que tout est mis en commun – hormis la charge utile du satellite, c'est-à-dire le matériel dédié à sa mission. Quand les développeurs font une découverte (un modèle de transmission pour



Spencer Lowell

2. DES CHERCHEURS DE L'UNIVERSITÉ DE CALIFORNIE à Berkeley ont conçu *Cinema*, un CubeSat triple (3U) pour étudier les tempêtes magnétiques à l'aide de capteurs miniaturisés, de détecteurs de particules et de magnétomètres embarqués.

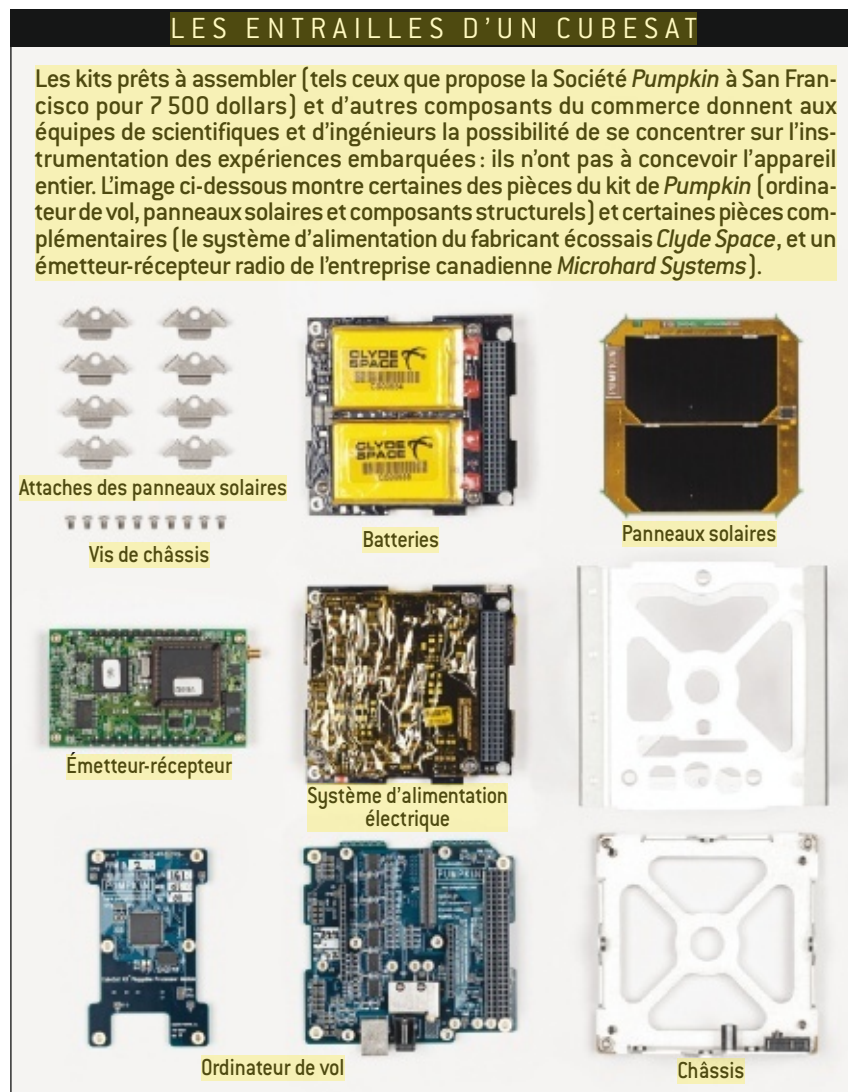
radioamateur qui fonctionne dans l'espace plus longtemps que les autres, par exemple), ils la partagent avec les autres concepteurs de CubeSats.

Nous nous sommes vite aperçus que les CubeSats intéressent les étudiants, et que ces derniers peuvent en tirer de nombreux enseignements. Les étudiants des programmes traditionnels de génie aérospatial travaillent sur des projets théoriques ou conçoivent de petites parties de gros systèmes qui rejoignent l'espace des années après la fin de leurs études. Un CubeSat, par contraste, est un objet que les étudiants peuvent tenir dans leurs mains. Il peut être construit par une équipe travaillant dans une seule pièce. Les étudiants peuvent créer des satellites fonctionnels en un ou deux ans, ce qui en fait des projets de thèse idéaux. Ils ont la responsabilité directe des projets CubeSat : même les étudiants de premier cycle peuvent être chefs de projet et spécialistes de mission, et la perspective d'envoyer le fruit de leur travail dans l'espace est une excellente motivation. Pour les enseignants, les CubeSats sont attrayants, car ils présentent tous les aspects d'ingénierie des grands satellites et offrent ainsi aux étudiants un moyen d'acquérir des bases solides et complètes sur leur conception.

Des expériences en microgravité

Ces dernières années, l'expérimentation sur CubeSat a rallié des scientifiques et des institutions de plus en plus variés. Les ingénieurs du secteur aérospatial et les astrophysiciens ont été rejoints par des professeurs et des étudiants d'autres domaines, et des entrepreneurs ont mis sur pied des compagnies offrant des services de lancement et un soutien. Des pays sans véritable programme spatial ont pu en démarrer un. La Suisse et la Colombie ont déjà lancé leurs premiers CubeSats, et plusieurs autres en préparent, telle l'Estonie. Avec les CubeSats, des programmes spatiaux voient même le jour à l'échelle de certains États des États-Unis. En particulier, le Kentucky a formé un consortium d'institutions académiques à but non lucratif pour bâtir une industrie du CubeSat.

Les premières missions à visée éducative étaient démonstratives : les « Beep-Sats », comme on surnommait ces premiers projets, transmettaient des signaux radio



pour confirmer qu'ils étaient fonctionnels et prouver que les petits satellites pouvaient communiquer avec des stations au sol. Depuis, l'état de l'art a évolué vers des objectifs scientifiques plus sérieux. La communauté CubeSat a aujourd'hui dépassé une « masse critique de missions réussies et importantes », note le technologue de la NASA Jason Crusan, et a désormais les moyens de répondre à ses détracteurs.

Les CubeSats sont devenus des outils utilisés dans de nombreux domaines, dont certains sont controversés ou en friche. Lancé en 2003, *QuakeSat* devait aider à mieux prédire les séismes en détectant des changements du champ magnétique terrestre à très basse fréquence (quelques dizaines de hertz). *QuakeSat* a fonctionné quelques mois et renvoyé avec succès des données à sa station au sol basée à Stanford ; la plupart des sismo-

logues restent cependant sceptiques sur la relation entre les très basses fréquences et les tremblements de terre, ou sur l'intérêt de détecter les très basses fréquences depuis l'espace. *LightSail 1*, quant à lui, est un CubeSat 3U conçu par la *Planetary Society* pour tester la première voile solaire au monde – une technologie envisagée pour se propulser dans l'espace et, notamment, sillonner le Système solaire. La NASA a annoncé en février que le CubeSat avait été retenu pour un lancement prochain.

La NASA, les agences de renseignement et les militaires commencent aussi à expérimenter les CubeSats. Ce revirement est remarquable, car il y a encore quelques années, les spécialistes de l'espace pensaient que les CubeSats ne seraient jamais assez puissants ou sophistiqués pour mener des missions scientifiques ou de surveillance, ne seraient jamais commandés avec