

LEO CubeSat: *SwissCube* depuis 15 ans QRV

Armin Rösch HB9MFL, Membre fondateur de l'AMSAT-HB (armin@roesch-deitingen.ch)

Préface de Martin HB9ARK La collaboration entre les radioamateurs et les institutions académiques est un exemple précieux de synergie entre l'expérience pratique et la recherche scientifique. Les rapports suivants mettent en lumière deux perspectives: Le **premier rapport** décrit l'expérience impressionnante d'un radioamateur qui a participé activement à un projet de recherche par satellite d'une université. Le **deuxième rapport** célèbre le 15e anniversaire de ce satellite et reflète les réalisations et les défis de ces dernières années. Ensemble, ces rapports illustrent à quel point la coopération entre des radioamateurs engagés et des institutions universitaires peut être fructueuse et enrichissante, et elle offre un aperçu inspirant des possibilités offertes par cette collaboration. *[Traduction française: HB9EDG]*

Mi-2009, j'ai appris qu'un satellite suisse allait être lancé par l'EPFL. Mon installation d'antenne était alors optimisée pour l'utilisation de satellites à forte orbite elliptique comme OSCAR 10, 13 et 40. Depuis 2003, de plus en plus de petits satellites construits par des universités sont apparus, pour lesquels on ne trouvait pas de documentation, et encore moins de décodeurs pour les types de modulation utilisés, mais qui utilisaient les bandes radioamateurs. J'ai donc été très intéressé de savoir comment cela se passait avec le satellite *HB-SwissCube*.

Le hasard a voulu que je sois en vacances à l'automne 2009, au moment du lancement de *SwissCube* en Inde, et que j'aie ainsi le temps de suivre les éventuels survols. La réception se fait sur 437.503 MHz \pm Doppler. Via la page d'accueil de *SwissCube*, j'ai pu consulter des documents et aussi télécharger des décodeurs pour la télémétrie. C'était déjà très bien.

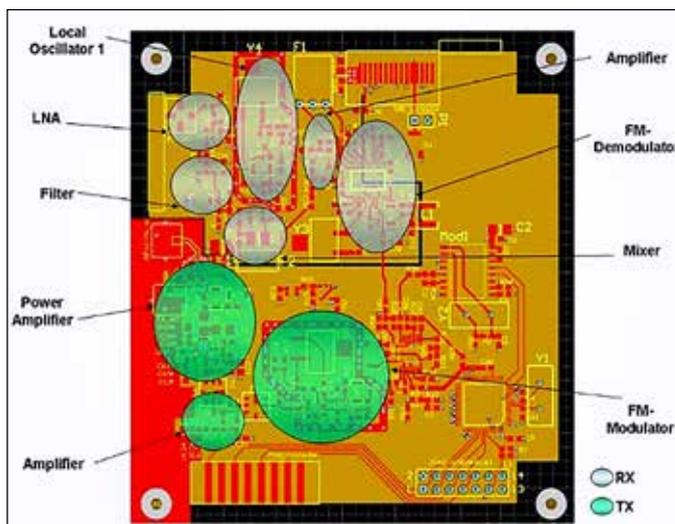
Schéma fonctionnel du SwissCube (voir p. 7)

Schéma fonctionnel du TX SwissCube (voir p. 8)

Schéma fonctionnel du RX SwissCube (voir p. 8)

Au début, seuls les télégrammes en CW pouvaient être reçus, car le satellite vacillait fortement pour des raisons encore inconnues. La réception n'était pas facile, même avec une antenne de poursuite. J'envoyais les données que j'avais reçues et décodées au serveur de l'EPFL. L'EPFL disposait alors d'une grande installation d'antennes pour le contact avec *SwissCube*.

J'ai rapidement été contacté par l'EPFL qui me demandait pourquoi je pouvais recevoir autant de données qu'eux à Lausanne. Lors de plusieurs visites sur place, nous (HB9MFK sk et moi-même) avons pu optimiser l'installation d'antennes en collaboration avec l'EPFL. Notre expérience dans l'exploitation pratique d'une installation radio et notre activité dans le développement d'appareils radio nous ont aidés à trouver des solutions. Ensuite, la station de Lausanne a également très bien fonctionné. Il s'est avéré qu'une collaboration entre les hautes écoles et les radioamateurs ainsi que leur expérience pratique étaient très utiles. C'est pourquoi, depuis plusieurs années, plusieurs étudiants de l'EPFL et de l'EPFZ sont venus chez moi pour voir en pratique et en direct les problèmes de communication avec un satellite LEO. Cela a également per-



Communication Print de SwissCube

mis à l'AMSAT-HB de nouer des contacts avec des projets de l'ETH avec SAGE et de l'EPFL avec CHES ainsi qu'avec HB9ZZ.



Les applications pour le contrôle des satellites étaient réparties sur deux moniteurs pendant le survol.

[Photo: HB9MFL]

Après 15 ans de vol **SwissCube** est le 3^{ème} CubeSat à fonctionner le plus longtemps dans l'espace

Avec l'autorisation de l'auteur **John Maxwell**, Bressonnaz Dessus 8, 1085 Vulliens, nous reproduisons ci-dessous l'histoire du succès du satellite SwissCube et la contribution d'Armin HB9MFL.

[Traduction française: HB9EDG]

Le 26 septembre 2009, une fusée lancée depuis le centre spatial indien Satish Dhawan a mis en orbite sa charge utile, dont le premier satellite suisse: **SwissCube**. Personne n'aurait pu le savoir à l'époque, mais ce jour-là, de nombreuses carrières extrêmement réussies ont été lancées: de CEO d'entreprises suisses de technologie à président du Conseil de l'Agence spatiale européenne.

SwissCube est un CubeSat, un satellite en forme de cube de 10 cm de côté. Envoyé pour une mission dont on espérait qu'elle durerait trois mois, SwissCube continue aujourd'hui, quinze ans plus tard, d'envoyer des données téléométriques. Seuls deux CubeSats sont plus anciens que SwissCube (Xi-IV Oscar 57 et Xi-V Oscar 58) et transmettent toujours des données de télémétrie. SwissCube est donc le troisième plus ancien des 2400 CubeSats lancés depuis 2003.

Mais cela n'a pas été une partie de plaisir. SwissCube a survécu à plusieurs aventures de style hollywoodien: une vrille incontrôlée (comme dans *First Man*), la navigation à travers un champ de débris (comme dans *Gravity*), une panne de communication prolongée (comme dans *The Martian*) et une réparation improvisée (comme dans *Apollo 13*). C'est un miracle qu'il soit encore en vie et donc une preuve de grande ingénierie, non seulement dans la construction initiale, mais aussi dans l'ingéniosité après le lancement.

Muriel Richard-Noca avait travaillé au Jet Propulsion Laboratory de la NASA sur l'orbiteur Jupiter Icy Moon, un projet de 350 millions de dollars et de 40 tonnes, lorsque le Dr Maurice Borgeaud l'a convaincue en 2005 de travailler pour Swiss Space à l'EPFL. Elle s'est retrouvée à travailler sur un satellite de 800 grammes avec un budget de 100 000 CHF.

Le Dr Anton Ivanov était également passé du Jet Propulsion Laboratory à l'eSpace et se souvient encore de

cette tâche colossale: «Les gens oublient qu'en 2009, le taux de réussite des petits satellites était d'environ 30 %. C'était un défi passionnant!»

Image: **SwissCube bien emballé pendant le transport vers le site de lancement (voir p. 16)**

Le lancement a toutefois effectivement été un succès. Le Dr Maurice Borgeaud, alors directeur du Centre spatial de l'EPFL, se souvient de ce moment: «Nous avons eu la première confirmation de Californie, environ 45 minutes après la séparation de la rampe de lancement. J'ai immédiatement appelé Patrick Aebischer (le président de l'EPFL à l'époque), qui était dans le train pour une réunion à Berne. C'était une journée fantastique, un moment de consécration après quatre ans de travail à l'EPFL avec les étudiants et l'industrie!»

Il y avait cependant un problème. Selon Mme Richard-Noca, il pourrait s'agir d'une friction: «*Il se peut qu'un des rails de l'appareil de lancement ait eu plus de friction que l'autre, le résultat a été que le satellite a été lancé en titubant sur son orbite. Il tournait trop vite pour être stabilisé par le contrôle d'attitude existant*».

Comme si cela n'était pas assez grave, un avertissement du United States Joint Space Operations Center est arrivé, indiquant qu'une collision était imminente entre le satellite commercial actif Iridium 33 et l'orbiteur militaire russe abandonné Kosmos 2251, qui avait laissé un champ de débris derrière lui, et que SwissCube se dirigeait droit dessus! Heureusement, **SwissCube** est passé d'une manière ou d'une autre et il n'y a pas eu de collision.

Cependant, la vrille s'est poursuivie et a empêché le satellite d'être dirigé ou de recevoir des données téléométriques. Il fallait être patient :

les prévisions indiquaient que la vrille ralentirait avec le temps, et c'est ce qui s'est passé.

Les capteurs étaient saturés et il n'était pas possible de recevoir de télémétrie. Les images du phénomène «airglow» - de faibles émissions de lumière provenant de l'atmosphère de la planète - étaient attendues avec impatience.

Il était convenu qu'un redémarrage du système viderait les banques de mémoire et permettrait ainsi de reprendre les opérations normales, mais pour des raisons de sécurité, le logiciel de vol ne contenait pas d'ordre de réinitialisation matérielle. « Cela aurait pu mettre en péril la sécurité de toute la mission », explique Mme Richard-Noca.

Le logiciel de vol avait été développé par des étudiants, ils étaient donc les experts à consulter dans cette situation d'urgence. Florian George avait fait des progrès constants dans sa formation, de l'école technique supérieure CIFOM du Locle à l'université de Neuchâtel en passant par la Haute-école Arc. Le Dr Borgeaud lui a trouvé un stage de six mois à l'Agence spatiale européenne aux Pays-Bas, où il a développé le logiciel de contrôle de mission pour SwissCube en collaboration avec Benoît Cosandier.

«Il y avait un moyen de forcer le redémarrage du système», explique Florian, «car si les batteries étaient déchargées à moins de 20 %, il y aurait un redémarrage d'urgence. Nous avons donc allumé tous les systèmes, désactivé plusieurs mesures de sécurité qui auraient empêché cela, consommé autant d'énergie que possible et attendu. Puis il y a eu un moment de grande tension: cette action aurait pu causer d'autres problèmes ! Nous devons simplement attendre que le SwissCube passe sur sa prochaine orbite et espérer que tout se passe bien». Le Dr Ivanov se

souvent qu'en mars 2011, une réunion a été organisée pour évaluer la mission. Lorsque tous les systèmes ont été remis en ligne après le redémarrage réussi, il a pu apporter à cette réunion la première image du phénomène d'airglow prise et envoyée par **SwissCube**:

Image: **La première image envoyée par SwissCube - l'effet Airglow (voir p. 10)**

«C'était génial ! Grâce à l'ingéniosité de nos étudiants, nous avons eu la confirmation. Nous avons l'image !» La tâche principale du SwissCube était désormais accomplie: Il avait été démontré que des équipes d'étudiants de l'EPFL, de l'Université de Neuchâtel, de la HES-SO, de la FHNW et d'autres étaient capables de développer et d'exploiter un satellite fonctionnel. Depuis lors, la longévité du satellite a toutefois toujours dépendu du travail de bénévoles. Si nous recevons encore des télémetries aujourd'hui, c'est grâce au radioamateur Armin Rösch HB9MFL et à l'ingénieur Yann Voumard qui, ensemble, veillent à ce

que la télémetrie de SwissCube (HB9EG/1) soit envoyée chaque mois à la communauté spatiale.

Image: **Le professeur Juan Mosig et le Dr Anton Ivanow observent la réception des signaux du SwissCube (voir p. 10)**

La dernière aventure de SwissCube s'est déroulée en 2022, lorsque les communications ont été interrompues. Des préparatifs ont été effectués pour annoncer la fin d'une grande mission, mais il s'est avéré que l'interruption des communications était due à un câble défectueux dans la station terrestre. Après une réparation rapide, la transmission télémetrique a pu reprendre.

Comment la mission a-t-elle pu être maintenue aussi longtemps ? Armin explique: «*Le système de détermination et de contrôle de l'attitude était vraiment bien conçu. En outre, la personne qui a développé les batteries et le système de gestion des batteries a fait du bon travail*». Le professeur Volker Gass, alors membre du comité de pilotage du centre spatial, le

confirme également: «*Nous savions que de nombreux CubeSats souffraient de problèmes de batterie. Nous avons envoyé nos étudiants dans l'industrie pour intégrer notre batterie dans un boîtier monolithique en aluminium, que nous avons fait usiner dans le canton de Vaud. Nous avons placé les batteries exactement dans cette structure solide afin qu'elles ne puissent pas se dilater et se dégrader. De plus, nous avons installé deux batteries identiques, de sorte qu'il existe aujourd'hui une 'redondance froide'. Nous avons également introduit une technique de brasage de haute qualité, notamment pour les cellules solaires. Tout cela a été bien vérifié par des tests de secousses et de vibrations*».

Le résultat est 15 ans de mission réussie, et il pourrait y en avoir beaucoup d'autres.

Mais ce qui est peut-être encore plus important, c'est que le **SwissCube** a ouvert la voie à de nombreuses carrières étonnantes. Plus de 200 étudiants et chercheurs seniors ont collaboré au projet **SwissCube**. 



Des étudiants avides de connaissances au Shack de Armin HB9MFL

[Photo: HB9MFL]