

Zeitschrift: Ingénieurs et architectes suisses
Band: 126 (2000)
Heft: 11

Artikel: La valse des antennes: des satellites aux parois crépies
Autor: Kaestli, Françoise
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-81501>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 10.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

La valse des **antennes** : des satellites aux parois crépies

(RECHERCHE SPATIALE)

Entré en contact avec l'Agence spatiale européenne (ESA) dans le cadre d'un projet de modélisation de circuits et d'antennes, le Laboratoire d'électromagnétisme et d'acoustique de l'EPFL réalise aujourd'hui une part importante de ses recherches avec et pour cette institution. Les travaux sur les antennes micro-rubans, commencés dès la fin des années septante, connaissent aujourd'hui des applications industrielles intéressantes en téléphonie mobile ou communications sans fil. La complexité de mise au point d'un système destiné à voler dans des satellites et la multiplicité des procédures de validation liées au domaine spatial expliquent des résultats commerciaux qui se concrétisent aujourd'hui seulement. Parmi les récents axes de recherche, l'intégration d'antennes et de cellules solaires sur un même support ouvre de nouvelles perspectives de miniaturisation.

A l'ESA, les procédures de sélection, réputées très compétitives, obligent la mise au concours systématique de tous les nouveaux projets et la diffusion des résultats obtenus auprès des membres de l'Agence, quelles que soient les connaissances déjà acquises par l'un ou l'autre centre. Figurant au nombre des membres fondateurs, la Suisse y participe au prorata de ses contributions financières. Obtenir une première fois le label d'entrée pour faire partie du cercle des « admis » est indispensable mais point suffisant pour s'assurer l'acceptation de nouvelles propositions. Depuis 1987, le Laboratoire d'électromagnétisme et d'acoustique de l'EPFL (LEMA), fort de son expérience théorique aussi bien que pratique en hyperfréquences, développe pour l'ESA, des antennes planes pour satellites. Pour le professeur Juan Mosig, directeur du laboratoire, la présence d'une entité suisse dans ce créneau est à souligner, quand on sait la course effrénée à la miniaturisation à laquelle se livrent les sociétés dans le domaine des télécommunications.

Antennes: mode d'emploi

Une antenne sert à libérer un signal électrique de son support matériel pour l'envoyer dans l'espace sous forme

d'ondes électromagnétiques ou, inversement, à capter ces ondes pour les transmettre à un conducteur. Derrière l'antenne intervient la partie d'électronique active qui convertit les signaux reçus en informations intelligibles ou code les informations en signaux. Pour répondre à l'explosion des besoins en communication et la diversité des supports médiatiques, on utilise des bandes de fréquences toujours plus élevées. Alors que les émissions radiophoniques FM exploitent des fréquences de l'ordre de la centaine de MegaHertz (un MegaHertz= 10^6 Hz), le LEMA travaille avec des fréquences mille fois plus élevées, entre 1 et 100 Gigahertz.

En raison de leur large bande passante (possibilité de traiter simultanément un grand nombre de fréquences différentes à haute vitesse) et de la miniaturisation des antennes qu'elles permettent, ces bandes de fréquence deviennent de plus en plus intéressantes pour des applications industrielles et spatiales dans les communications ou la télédétection (communication mobile, systèmes anti-collision placés sur les voitures, liaisons sans fil entre ordinateurs, surveillance atmosphérique, terrestre ou océanique). En effet, à chaque fréquence correspond une longueur d'onde et lorsque l'on se rapproche de la centaine de GigaHertz, l'onde devient millimétrique. Or, pour un fonctionnement optimal, les antennes doivent avoir une taille comparable à la longueur d'onde émise. Ainsi, pour certaines applications, l'antenne atteint des dimensions de l'ordre du centimètre et les circuits qu'elle contient se tracent au millimètre près.

Contraintes liées aux applications spatiales

Les performances des antennes destinées à voyager dans l'espace s'accroissent au fur et à mesure que celles-ci s'aventurent dans des mondes plus lointains. La portée d'un émetteur est directement liée à sa puissance, ce qui, malheureusement, augmente proportionnellement la consommation énergétique du dispositif, point délicat sur un satellite destiné à être autonome. Avec les faibles puissances à disposition, la course à l'optimisation est impitoyable: utiliser toute l'énergie disponible, concentrer au mieux les signaux cibler la direction d'émission, à l'image d'une torche qui, grâce à un réflecteur adéquat, envoie son faisceau de lumière à grande distance. Un effort de recherche est aussi porté, en parallèle

Fig.1 : Antenne pour station fixe GSM (900 MHz), développée au LEMA et commercialisée par Huber+Suhner AG, Hérissau. Cette antenne permet un montage discret en façade (photo LEMA).

Fig.2 : Illumination sélective de certaines portions de territoire par une antenne située sur un satellite (photo ESA)

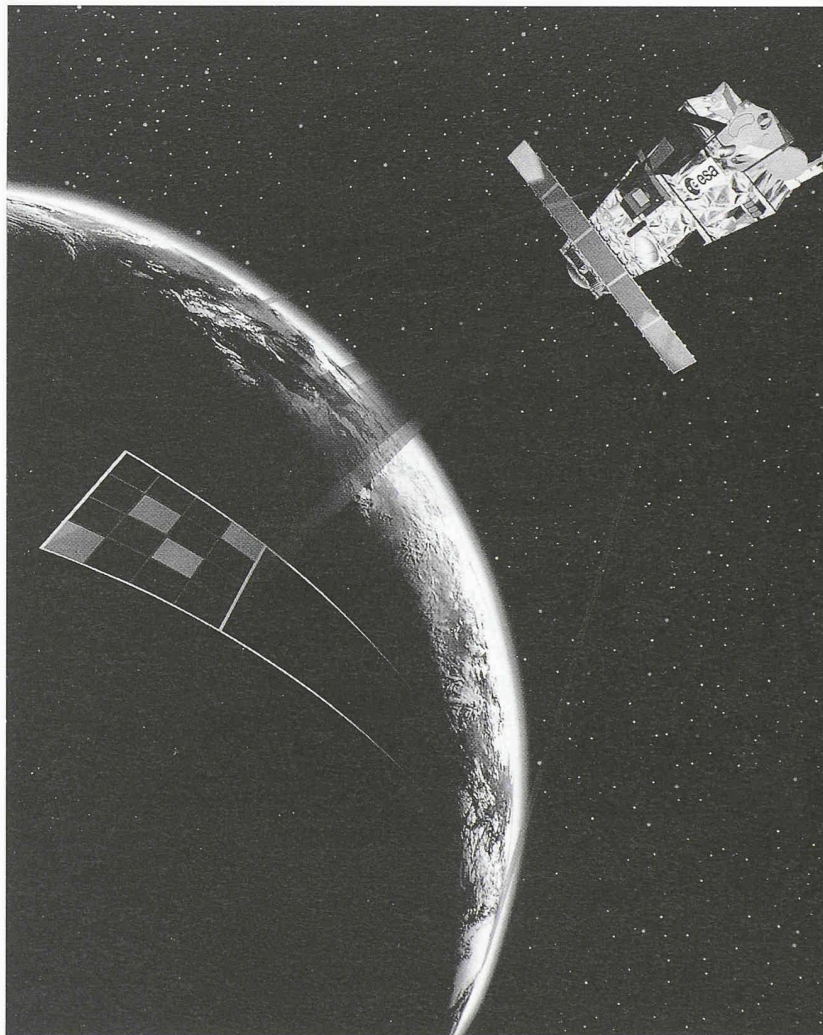
le, sur les récepteurs, afin qu'ils deviennent capables de récupérer des signaux infimes et de les isoler du bruit de fond présent dans l'espace.

Le LEMA s'est lancé dans une recherche originale: le développement d'antennes plates imprimées (technologie micro-ruban, apparue pour la première fois en 1974). De quelques millimètres d'épaisseur, elles ouvrent la voie à des systèmes extrêmement légers et esthétiques, qui s'appliquent aussi bien à un satellite qu'à une surface murale recouverte d'un crépi (fig.1). De plus, leur production intègre la technologie bien maîtrisée, fiable et bon marché, des circuits imprimés. A priori, un dispositif plat peut sembler moins adéquat qu'une antenne parabolique pour récolter ou émettre un signal à faisceau étroit. Ce serait négliger les possibilités qu'offrent les progrès mathématiques et informatiques actuels de coupler les éléments d'un réseau d'antennes. En développant de nouvelles méthodes mathématiques, le professeur Mosig a d'ailleurs grandement contribué à améliorer les outils de modélisation qui permettent de résoudre le véritable casse-tête que constitue la géométrie de chaque élément du dispositif et son association à d'autres, en fonction des spécifications requises. En mettant les antennes en réseau par exemple, en ajustant les courants de chaque module, on peut créer des interférences de façon contrôlée: ce rayonnement que l'on s' imagine envahir tout l'espace devient soudain maîtrisable et orientable. Idéalement,

une émission de télévision par satellite pourrait définir précisément sa zone de diffusion: un pays, une région linguistique (fig. 2). De même, une meilleure orientation de l'onde émise par les téléphones mobiles est souhaitable, pour éviter une émission en direction de la tête. Le LEMA est passé maître dans la simulation du comportement électromagnétique de telles antennes et la conception des logiciels y relatifs. Plusieurs d'entre eux sont d'ailleurs commercialisés par des partenaires industriels.

Les compétences de cette équipe ne s'arrêtent pas à la conception de systèmes, mais incluent la réalisation de prototypes et leur test au laboratoire. Les configurations proposées ont toujours été validées à l'intérieur du LEMA, grâce à l'existence d'un atelier permettant de tels travaux et à l'instrumentation perfectionnée à disposition. Pour les tests, le laboratoire a joué un

2



rôle de pionnier en se dotant ou en développant des installations adaptées à la mesure allant jusqu'aux ondes millimétriques: chambre anéchoïde, banc de mesures de champs proches, analyseur de réseau vectoriel, etc. Complétant son expertise théorique par l'inventivité technique que confère l'expérimentation, le laboratoire s'est taillé une réputation internationale. On doit à Jean-François Zurcher, collaborateur de longue date, certaines innovations sur la structure des antennes qui sont à la base de développements récents en téléphonie mobile notamment (fig.3).

Télécommunication et télédétection: deux axes de recherche forts

Un exemple typique de cette stratégie est donné par le projet d'antenne « conformée », (réseau d'antennes disposées sur un tronc de cône capable d'orienter des faisceaux dans plusieurs directions), dont le prototype, pour une cellule uni-

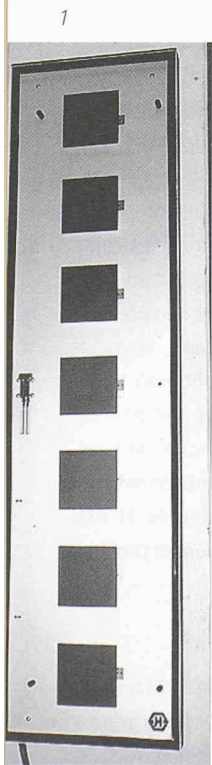
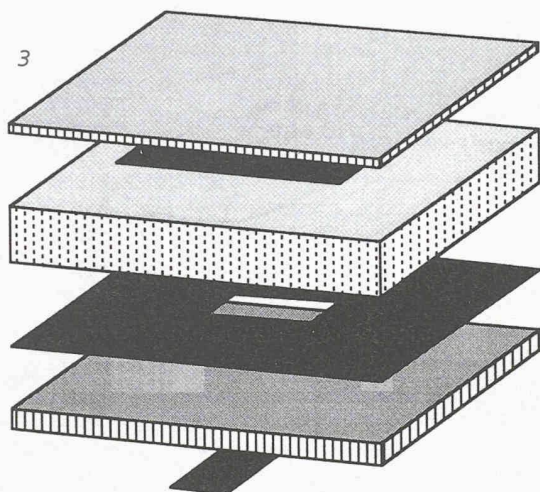


Fig.3 : Principe d'un élément d'antenne multicouche SSFIP

Fig.4: Le système complet développé par Alcatel (source www.esa.int - Copyright Alcatel Space)

Fig. 5: Un élément d'antenne imprimée à cavité, pour réseau conforme conique (Photo LEMA)



taire, a été développé en 1997 par le LEMA, au cours d'un premier contrat avec l'ESA et Alcatel Espace. Fort des résultats obtenus, Alcatel a conçu un dispositif complet et l'a validé. Il devrait être embarqué sur un satellite l'année prochaine (fig.4 et 5).

Le LEMA participe à d'autres recherches spatiales. Dans le but de rendre toujours plus compacte et légère la charge utile embarquée, il propose un nouveau concept d'antenne et de cellules solaires intégrées à un même support (fig.6). Ayant tout d'abord fait l'objet d'un contrat ESA cent pour cent suisse avec l'Institut de microtechnique de l'Université de Neuchâtel (Prof. Arvind Shah), ce projet vient d'être avalisé et se prolongera par une nouvelle phase de recherche pré-industrielle de deux ans, à laquelle se joint un partenaire étranger cette fois. Ce qui fait dire au professeur Mosig: « J'ai l'im-

pression de passer mon temps à formuler des projets, à les défendre et à préparer les suivants. »

Avec APCO-Technologies à Vevey, une société romande spécialisée dans la réalisation d'équipements électromécaniques pour l'espace, le LEMA travaille à la conception de filtres en ondes millimétriques, afin qu'une même antenne reçoive et émette des signaux appartenant à plusieurs canaux de transmission. Cette technologie sert aussi à la séparation de bouquets d'émissions grâce à plusieurs filtres combinés. Le guide d'ondes piège dans des cavités de quelques millimètres, distinctes pour chaque longueur d'ondes, les rayonnements entrants et les dirige vers leur lieu de traitement. Le défi réside dans la forme des cavités et la qualité de surface à développer pour éviter toute diffusion ou réflexion parasite du signal. L'entreprise met au point une nouvelle technologie pour la production des guides d'onde, le laboratoire modélise le comportement du circuit et développe un logiciel convivial (fig. 7).

Dans le domaine de la télédétection, le LEMA collabore à la conception d'une antenne chargée d'observer la Terre dans des longueurs d'ondes millimétriques et sub-millimétriques. Un tel dispositif a pour mission d'établir une cartographie des différents gaz présents dans notre stratosphère, entre 12 et 50 km, là où se forme l'ozone. Ce projet est mené conjointement par Dornier, le LEMA, les Universités d'Helsinki, de Göteborg, du Michigan et d'Erlangen, ainsi que la Haute école de Wuppertal. Observer chaque molécule de polluants atmosphériques connus, tels que le CO et le NO₂, dans la longueur d'onde où elle rayonne spontanément, donne une indication sur sa présence dans un mélange de gaz. Typiquement, les fréquences les plus intéressantes se situent sur une échelle comprise entre 100 et 2500 GigaHertz. Suivre

les variations de concentration de ces composants présente un grand intérêt tant pour la recherche environnementale que pour les études climatologiques. Il s'agit, dans ce cas-là de garantir une interprétation fiable des données sur une longue période de temps. Le laboratoire développe de nouvelles technologies et des outils de simulation pour des récepteurs intégrés et des mélangeurs utilisant des fréquences proches de l'optique.

Transfert de technologie

Dans le cadre des programmes spatiaux, le LEMA et sa vingtaine de collaborateurs coopèrent avec de grands groupes industriels européens: Alcatel, Thomson, CASA, Saab

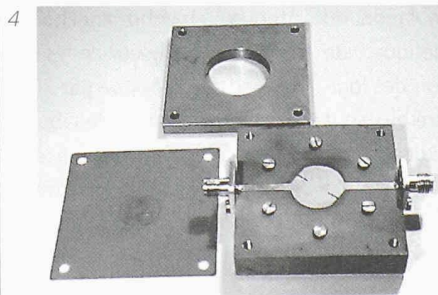
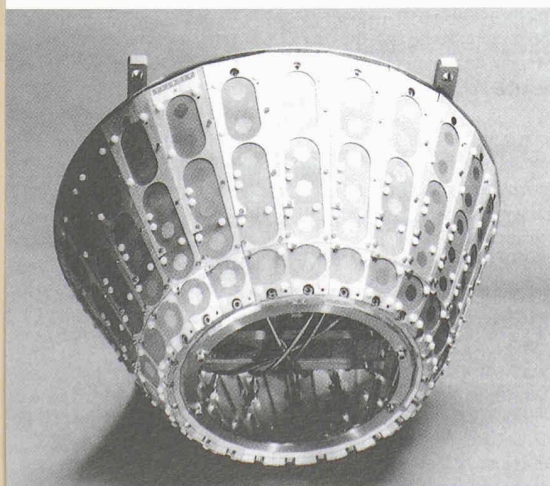
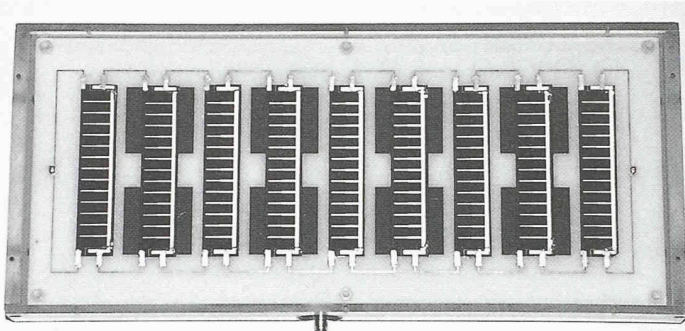


Fig.6 : Réseau d'antennes à 4 GHz combinées avec des cellules photovoltaïques: l'antenne comprend un préamplificateur alimenté par les cellules, d'où un gain d'environ 30 dB (photo LEMA)

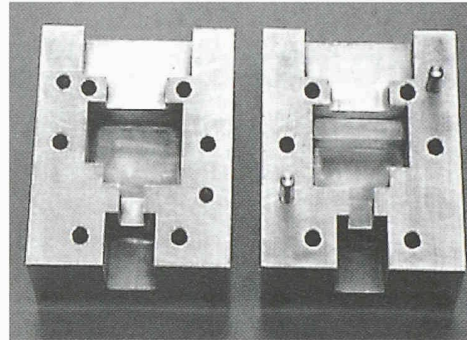
Fig.7 : Guide d'ondes (photo LEMA)

Fig. 8 : Les antennes plates du Laboratoire d'électromagnétisme et d'acoustique de l'EPFL, au milieu d'autres antennes, sur la tour de Swisscom à Ecublens (photo J.-F. Zurcher)

6



7



Ericsson Space ou Daimler pour en citer quelques-uns. En Suisse également, le contact avec les entreprises s'est renforcé à travers ce type de projet. Bien que la démarche de validation s'avère longue, elle n'entrave pas les applications terrestres.

Le prototype que le LEMA livre à l'ESA est testé et validé dans des conditions de laboratoire. Un important travail reste à fournir par le partenaire industriel lorsque le produit doit être réellement fabriqué pour répondre aux spécifications de l'espace. Le cahier des charges spatial s'alourdit de contraintes liées aux accélérations que les antennes subissent et à l'environnement dans lequel elles évoluent: variations thermiques extrêmes, vibrations, rayonnements cosmiques et électromagnétiques notamment. Malgré ces contraintes, l'antenne doit rester légère et offrir une durée de vie de plusieurs années sans panne.

Ces développements et les exigences rigoureuses qui les accompagnent peuvent même favoriser le transfert des technologies spatiales vers des applications grand public, leur ouvrant des perspectives sur des marchés plus larges. Ainsi, les antennes plates développées pour les quelques satellites appelés à voler ces prochaines années pourraient connaître un succès plus «populaire», grâce à la société Huber+Suhner AG qui a développé des produits industriels. Utilisés sur des façades ou intégrés dans la toiture d'édifices, ils remplacent de façon avantageuse le foisonnement peu esthétique de paraboles dans les villes (fig.8). A l'intérieur des bâtiments, ils posent les jalons des prochaines générations d'appareils communiquant entre eux sans fil. D'autres transferts sont attendus à partir des développements sur les guides d'ondes ou les antennes solaires notamment, car rien n'empêche ces dispositifs d'atteindre un prix compétitif, pour autant que le produit soit repensé en vue d'une production de masse.

Apport d'un projet ESA

Par le biais des projets proposés, à l'heure où la participation aux projets européens reste aléatoire et soumise à restrictions, l'ESA apporte bien sûr une contribution financière bienvenue au LEMA, mais elle ouvre aussi des contacts sur

le monde industriel et universitaire européen, qui peuvent se concrétiser par d'autres collaborations. Outre le fait qu'elle auréole le laboratoire d'un certain prestige, elle représente une stimulation intellectuelle riche et passionnante pour les chercheurs, confronte les doctorants à des problèmes intéressants et permet aux étudiants qui se forment d'appréhender des technologies avant-gardistes: une manière de s'envoler un peu, avec ses antennes.

Nous remercions le professeur Juan Mosig et Jean-François Zurcher de leur précieux appui pour la rédaction de cet article.

8

