

CNES MAG



ESPACE • INNOVATION • SOCIÉTÉ

#82

Novembre 2019

TÉLÉCOMMUNICATIONS

SPATIALES

BIENVENUE DANS
UNE NOUVELLE ÈRE

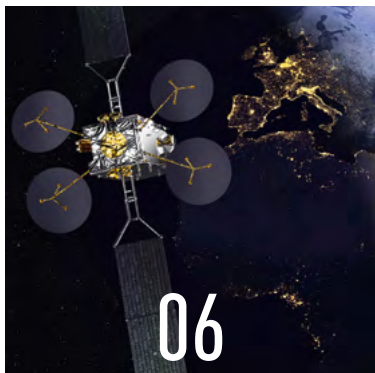


cnes

CENTRE NATIONAL
D'ÉTUDES SPATIALES



SOMMAIRE



05 ÉDITORIAL

06 L'ESSENTIEL

Enjeux, marché et défis : le point sur l'actualité présente mais aussi future des télécommunications spatiales

12 #COMMUNAUTÉ

Les followers du CNES, premiers bénéficiaires des télécommunications!

13 GRAND ORAL

Ministre de l'Économie et des Finances, Bruno Le Maire décrypte les particularités du secteur français des satcoms

16 EN IMAGES

Des flottes de ballons aux constellations

18 EN CHIFFRES

Télécoms spatiales : des chiffres et de la donnée pour tous!

19 LE CNES EN ACTIONS

La révolution des télécoms passera par l'espace

27 MATIÈRE

La magie du numérique

28 INSTANTS T

Kinéis conquiert l'Internet des objets (IoT)

30 RENCONTRES

- Christophe Outier, directeur Développement et affaires externes de Nordnet
- François Gaullier, directeur des Satellites de télécommunications d'Airbus Space Systems
- Pascal Homsy, vice-président exécutif des activités Télécommunications de Thales Alenia Space

33 ESPACE ÉTHIQUE

Conspiration, par Jacques Arnould

34 EN VUE

Les adresses à connaître, les événements à suivre

36 TRANSFERT

Minicircuit, maxisuccès

PARTENAIRES

Sont cités dans ce numéro : p. 6-9-14-21 l'Agence spatiale européenne (ESA) ; p. 9-10-16-25-31 Airbus Defence and Space (ADS) ; p. 8-9-20-25-29-32 Thales Alenia Space (TAS) ; p. 10 l'Agence nationale des fréquences (ANFR) ; p. 9-20-23 Eutelsat, l'opérateur européen ; p. 29 CLS (Collecte Localisation Satellites), la filiale du CNES et de l'Ifremer ; p. 29 la société Hemeria (ex Nexeya) ; p. 29 la société Syrlinks.



WWW.CNES.FR

Découvrez les contenus en ligne de ce nouveau numéro sur cnes.fr/cnesmag





À CHAQUE SATELLITE DE TÉLÉCOMMUNICATIONS SON ORBITE

Orbite géostationnaire (36 000 km d'altitude)

SATELLITES GÉOSTATIONNAIRES

3,5 à 7 tonnes au
lancement, volume
de 17 à 35 m³ comme
Konnect VHTS
(cf. p. 20)

SATELLITES FLEXIBLES GÉOSTATIONNAIRES

> 2 tonnes au
lancement, pour
un volume d'environ
10 m³ comme
Space Inspire
(cf. p. 25)

CONSTELLATIONS DE MINISATELLITES

de 150 à 800 kg au
lancement pour un
volume de 1 à 5 m³
comme **OneWeb**
(cf. p. 16)

Orbite basse (de 400 à 2 000 km d'altitude)





CONTRIBUTEURS



ALEXANDRE VALLET

Aujourd'hui chef du département des services spatiaux au sein du Bureau des radiocommunications de l'Union internationale des télécommunications (UIT), Alexandre Vallet a commencé à travailler dans le domaine des communications par satellite dès 2000, dans le centre de R&D d'Orange. En 2006, il a rejoint l'opérateur de satellites Eutelsat en tant que chargé des affaires réglementaires. De 2007 à son arrivée à l'UIT, en 2017, il était à la tête du département des affaires réglementaires de l'Agence nationale des fréquences (ANFR). Invisibles mais pas infinies, les radiofréquences sont une ressource toujours plus prisée. Alors comment la partage-t-on ? Pour ce *CNESmag*, Alexandre Vallet nous a fait l'honneur de répondre à nos multiples questions en matière de réglementation des radiocommunications, d'attribution de fréquences radio et de coopération en la matière.

Une interview passionnante à lire sur <https://cnes.fr/fr/cnesmag>



JEAN-PIERRE DIRIS

À la tête de la sous-direction

Télécommunications et navigation, Jean-Pierre Diris mène avec ses équipes des projets innovants en matière de télécommunications commerciales, duales et militaires au bénéfice de l'État français. Ses modes d'intervention sont adaptés aux besoins des différents marchés ainsi qu'aux compétences de la base industrielle. Il nous a ouvert son carnet d'adresses et nous a éclairés sur les défis technologiques et les enjeux de compétitivité de ce secteur très concurrentiel.



JEAN-PHILIPPE TAISANT

Au sein de la sous-direction Compétitivité et développement économique, Jean-Philippe Taisant est, lui, responsable des programmes « Télécommunications et 5G ». Sa mission : soutenir la compétitivité de l'industrie spatiale et du développement économique aval à travers les solutions spatiales. À l'aune d'une longue expérience en projet télécoms et désormais en charge de la stratégie, il nous a raconté l'histoire des télécommunications spatiales de leurs origines à nos jours, et les énormes caps technologiques franchis dans ce secteur.

CNESMAG

CNESmag, le magazine d'information du Centre national d'études spatiales, 2 place Maurice Quentin. 75039 Paris cedex 01. Adresse postale pour toute correspondance : 18 avenue Édouard Belin. 31401 Toulouse cedex 9. Tél. : +33 (0)5 61 27 40 68. Internet : <http://www.cnes.fr>. Cette revue est adhérente à Communication&Entreprises. Abonnement : <https://cnes.fr/reabonnement-cnesmag> **Directeur de la publication** : Jean-Yves Le Gall. **Directeur éditorial** : Marie-Claude Salomé. **Rédactrice en chef** : Brigitte Alonzo-Thomas. **Secrétaire générale de la rédaction** : Céline Arnaud. **Rédaction** : Brigitte Alonzo-Thomas, Karol Barthélémy, Liliane Feuillerac. **Photothèque (recherche iconographique)** : Marie-Claire Fontebasso. **Responsable photo** : Nicolas Tronquart. **Credits photo** : p. 4 CNES/O. Pascaud, CNES/L. Lecarpentier, P. Taisant ; p. 5 CNES/S. Godefroy ; p. 6 Thales Alenia Space Master Image Programmes ; p. 7 (haut) Getty Images, (bas) CNES/D. Sarraute ; p. 8 (haut) Ruag space/M. Steiger, (bas) Getty Images ; p. 10 (haut) Getty Images ; p. 11 (haut) QUANDELA, (bas) CelesTrak/CSS ; p. 13 et 15 E. Dessons/DD/SIPA ; p. 16 ADS/D. Eskenazi for OneWeb Satellites ; p. 17 Loorn/Google ; p. 18-19-20 Getty Images ; p. 21 CNES/ESA/Arianespace/CSG Service Optique ; p. 22 Getty Images ; p. 23 CNES/G. Le Bras ; p. 24 Thales Alenia Space/E. Briot ; p. 26 ESA/D. Ducros ; p. 27 ST Microelectronics ; p. 33 J. Arnould ; p. 34 Getty Images ; p. 35 SDIS49 ; p. 36 CNES/G. Le Bras. **Illustrations** : François Foyard, Jean-Marc Pau, Robin Sarian (Idix). **Web master** : Sylvain Charrier, Mélanie Ramel. **Réseaux sociaux** : Mathilde de Vos. **Traduction** : Boyd Vincent. **Conception, conseil et réalisation** : Citizen Press - Camille Aulas, David Corvaisier, Mathilde Gayet, Alexandra Roy. **Impression** : Ménard. ISSN 1283-9817. **Ont participé à ce numéro** : Laurence Amen, Caroline Bazile-Amiot, Florence Chiavassa, Philippe Collot, Sophie Coutin-Faye, Emiline Deseez, Romain Desplats, Jean-Pierre Diris, Vincent Dubourg, Michel Faup, Valerie Foix, Hubert Fraysse, Hugo Gonzalez, Pierre Lacassagne, Murielle Lafaye, Sandrine Lafon, Brice Lamotte, Christophe Laporte, Vincent Meens, Nicolas Quelin, Jérôme Rousseau, Michel Sarthou, Jean-Philippe Taisant, Jérôme Vila, Rachel Villain.



ÉDITORIAL



Les télécommunications spatiales.

Interrogez sur ce sujet nos concitoyens et vous entendrez inmanquablement parler de conquête de l'espace, d'antennes géantes et de missions interplanétaires, improbable cocktail d'Apollo 11, de Pleumeur-Bodou et de Blake et Mortimer !

Peu de gens imaginent que c'est pourtant par le biais des télécommunications que le spatial a fait irruption dans notre vie quotidienne. Aujourd'hui, pas d'émission de télévision qui n'ait transitée par un satellite, pas de SMS qui n'ait fait le détour par l'orbite géostationnaire et pas de géo localisation qui n'ait utilisée les signaux envoyés par une constellation en orbite à des milliers de kilomètres au-dessus de nos têtes !

C'est ce dossier qu'ouvre CNESMAG avec des intervenants d'exception qui nous parlent des aspects politiques, stratégiques, réglementaires, technologiques, industriels, commerciaux et sociétaux de ce secteur d'activité qui, en quelques années, a révolutionné notre façon de communiquer, de nous informer, de nous déplacer, en deux mots, de vivre ! Mais ce n'est qu'un début. Dans le monde hyper connecté qui sera celui de demain, seuls les satellites permettront de relier à Internet l'ensemble des habitants de notre planète pour qu'ils communiquent entre eux mais aussi pour assurer leur sécurité, leur éducation, leur santé et bien d'autres applications qui restent à inventer. Parce que demain, nous aurons tous l'espace en tête !

JEAN-YVES LE GALL

PRÉSIDENT DU CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES



SPACE 19+

L'Europe version très haut débit

À Séville, les 27 et 28 novembre, le programme de recherches avancées Artes¹ sera au cœur des communications de la conférence ministérielle de l'ESA. Les ministres des États membres feront notamment le point sur les systèmes de télécommunications spatiales. Les questions sur l'évolution du marché et des usages, sur les ruptures technologiques et sur la compétitivité des solutions européennes seront débattues afin de définir les axes de R&D² pour la période 2020-2022. Chacun décidera ensuite, selon ses priorités et les besoins de son écosystème industriel, les activités qu'il choisit de soutenir. Space 19+ doit aussi rendre plus efficace la concertation entre États membres. La ligne du programme stratégique « Space for 5G », en particulier, a pour objectif d'imposer le satellite comme une composante majeure du futur réseau 5G. En effet, le spatial doit étendre la fourniture de services haut débit (HD) ou de service pour l'Internet des objets (IoT) dans des zones dénuées d'infrastructures terrestres. Pour la France, le CNES porte la responsabilité de « Space for 5G » et met en œuvre des stratégies spécifiques pour aider l'industrie.

1. Advanced Research in Telecommunications Systems
2. Recherche et développement

La nouvelle ligne de plateformes Spacebus Neo développée dans le cadre du programme Neosat.



5G NOUVEAUX SERVICES POUR NOUVEAUX MODES DE VIE

Que vous chargiez des jeux en streaming ou des séries Netflix sur votre portable, bonne nouvelle : la 5G devrait multiplier les débits de la 3G par 100 ! Elle est aussi conçue pour supporter l'arrivée massive des objets connectés et des liaisons ultrarapides et sécurisées. Monitoring à domicile, cloud unique de stockage de données personnelles, e-santé... C'est tout notre quotidien qui s'en trouvera modifié. Mais avant cela, il faudra que les réseaux terrestres soient mis à niveau, et les installations fortement densifiées. Les opérateurs se sont déjà lancés dans cette course qui profitera d'abord aux zones les plus denses. Sur les zones « blanches » ou grises en France ou en voyage, le satellite prendra le relais pour offrir la 5G partout. Elle représente aussi l'opportunité d'une meilleure intégration de l'ensemble des réseaux de communications, mobiles et fixes, grâce à des interfaces de gestion communes. C'est la première étape vers une connexion universelle et multi-services, transparente pour les opérateurs, mais surtout... pour vous !



28,9

C'était, en 2018, le nombre de millions d'abonnements haut débit (HD) et très haut débit (THD) en France tous réseaux confondus.

PIA UN COUP DE POUCE POUR L'INDUSTRIE

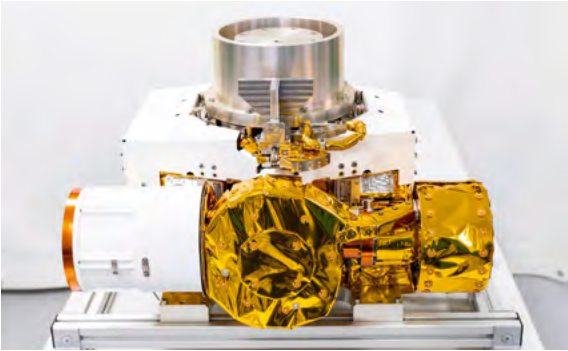
Créés en 2010 par l'État français, les Programmes d'investissements d'avenir (PIA) sont indispensables à l'industrie spatiale. Référent pour « l'Espace », le CNES est responsable de l'utilisation de ces fonds pour les activités de R&D. Réinvestis dans l'industrie, ces travaux ouvrent ensuite la voie à de nouvelles filières industrielles profitables à tout l'écosystème spatial. Les télécommunications spatiales ont bénéficié du PIA « Satellites du futur », dédié à la conception des nouvelles générations de plateforme. Aujourd'hui, neuf satellites issus de ces nouvelles filières sont en cours de développement pour le compte d'opérateurs publics et privés qui positionnent les industriels français en leader sur la scène internationale. Le PIA a également supporté les programmes « Satellite à propulsion électrique » (cf. p. 7) et THD-Sat (cf. p. 23).



Propulseur électrique.



L'ESSENTIEL



Démonstrateur à propulsion électrique EPPM du programme Artes.

SATELLITE ÉLECTRIQUE AUJOURD'HUI, UNE QUESTION DE POIDS

La propulsion électrique est l'acte I de la révolution des satellites de communications. Son avantage ? Une économie de poids ! En effet, le coût d'un satellite dépend en premier lieu de sa masse. La propulsion électrique est le facteur qui peut la réduire de 1,5 à 2 tonnes, en réduisant celle des ergols (carburants). L'économie réalisée pourrait être de 30 %, un argument auquel les opérateurs ne sont pas insensibles. Pour s'adapter à ces nouvelles stratégies et booster l'industrie européenne, le CNES et l'ESA ont conçu Neosat, qui a débouché sur deux lignes de plateformes à propulsion électrique : Eurostar Neo d'Airbus Defence and Space (ADS) et Spacebus Neo de Thales Alenia Space (TAS). En anticipation de ces nouvelles lignes de produit, le CNES a développé avec ADS une version EOR¹ de la plateforme Eurostar E3000. Commandé par l'opérateur européen Eutelsat et lancé le 1^{er} juin 2017 de Guyane, le satcom 172B a été la première mission de cette version. Il utilise la propulsion électrique haute puissance pour sa mise en orbite et toutes les manœuvres orbitales. Le gain de poids des satellites électriques est aussi un avantage pour les lanceurs. Ariane 6, par exemple, sera positionné sur le marché des satellites 3 à 7 tonnes (cf. p. 25-26).

1. Electric Orbit Raising

SATELLITE NUMÉRIQUE DEMAIN, UNE QUESTION DE COMPÉTITIVITÉ

Le basculement vers le « tout numérique » amorce la phase II de la révolution. Quand le satellite classique reçoit des signaux qu'il retransmet le plus fidèlement possible, le satellite numérique, lui, va pouvoir traiter à bord les signaux reçus et émis. Or les traiter, c'est aussi pouvoir les crypter. Une capacité qui intéresse particulièrement la défense, utilisatrice déjà fidèle de ces technologies pour interconnecter en toute sécurité plusieurs zones de conflit. L'autre avantage du tout numérique, c'est la flexibilité ; les algorithmes peuvent être mis à jour en orbite pour répondre à de nouvelles missions (cf. p. 27). L'utilisation des satellites numériques s'étend maintenant au secteur des télécommunications commerciales. Grâce à eux, les opérateurs pourront suivre l'évolution du marché et s'y adapter. Le CNES soutient Thales Alenia Space dans le développement de ces technologies numériques. Leur fabrication, qui repose sur l'utilisation de technologies fortement intégrées, réduit à la fois les temps d'approvisionnement et les coûts.





SATELLITE OPTIQUE APRÈS-DEMAIN, UNE QUESTION DE DÉBIT

acte III de la révolution passera par l'optique. Les technologies à l'étude s'inspirent de la fibre optique terrestre. En lieu et place des ondes radiofréquences, le laser assure la transmission du signal. Économiquement, l'optique pourrait être plus profitable que certaines liaisons classiques. Mieux, pour les débits les plus élevés (de l'ordre du téra-bit), c'est actuellement l'une des technologies les plus crédibles. Elle peut donc être une réponse adéquate à la croissance exponentielle du volume des données. Elle présente aussi l'avantage de ne pas être soumise à l'autorisation de fréquences. Avant de passer en phase opérationnelle, les télécommunications spatiales doivent cependant lever quelques barrières. En effet, les liens optiques sont interrompus par les nuages et perturbés par les turbulences atmosphériques. Le CNES et ses partenaires travaillent à la fiabilisation de ces liaisons à travers l'atmosphère. Les télécommunications optiques spatiales devront aussi garantir leur non-dangerosité oculaire, notamment pour les pilotes d'avions et d'hélicoptères. Les programmes en cours incluent plusieurs phases d'expérimentation avant une phase de démonstration opérationnelle pour des services commerciaux à l'horizon 2025.

2

Un Américain paie son abonnement Internet-téléphone deux fois plus cher qu'un Européen et cinq fois plus cher qu'un Français. Les tarifs des télécoms en France sont considérés comme les moins chers de tous les pays européens.

1%

Plus de 1% de la population française, soit près de 670 000 personnes, a un débit ADSL très faible, voire inexistant. Au total, 541 communes sont situées dans des « zones blanches fixes », c'est-à-dire dépourvues d'accès Internet.

260

Avec les satellites géostationnaires à 36 000 km d'altitude, le signal Internet nécessite en moyenne 260 millisecondes pour aller jusqu'au satellite et revenir vers l'utilisateur. C'est 5 fois plus que l'ADSL. Ce délai de latence est l'un des points qui cristallisent la R&D du secteur des satellites de communications.

FRÉQUENCES ET AFFECTATIONS



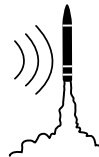
BANDE L
1,5 GHz
Navigation,
localisation



BANDE S
2,5 GHz
5G



BANDE C
4/6 GHz
Télévision - VSAT



BANDE X
6/8 GHz
Systèmes
militaires



BANDE K_U
11/18 GHz
Télévision



BANDES K_a/Q/V
20 à 50 GHz
Haut débit et
très haut débit



L'ESSENTIEL

MARCHÉ DES SATCOMS UN LÉGER FRÉMISSEMENT

Le frigo qui gère les stocks, le babyphone qui surveille l'humidité de la nurserie... à l'heure où le très haut débit (THD) et l'Internet des objets (IoT) s'invitent dans tous les foyers, le marché des satellites géostationnaires de télécommunications est en crise. Seulement 7 commandes de satellites en 2017 et 2018, contre une moyenne de 15 à 20 les années précédentes! Euroconsult, société d'analyse et de conseil dans le secteur spatial, analyse la situation comme un attentisme prudent des opérateurs de satellites, qui limitent leur prise de risque dans un climat d'incertitude



économique sur leurs marchés de télécommunications et de télévision. L'année 2019 semble pourtant apporter un nouveau souffle avec 7 commandes sur neuf mois, dont 3 pour Airbus et son nouveau modèle de satellite

flexible. Ces nouveaux satellites qui peuvent être reprogrammés tout au long de leur vie pour un coût moindre pourraient redonner confiance aux investisseurs. Une tendance restant cependant à confirmer.

GESTION DES FRÉQUENCES UN VRAI CASSE-TÊTE!

La gestion des bandes de fréquences est une équation compliquée. Ces dernières années, la prolifération des services numériques a créé une surenchère des demandes et une saturation. La bande C de télécommunications par satellite a par exemple été « grignotée » par l'arrivée des services mobiles. En effet, ces derniers servent plus aujourd'hui à regarder des vidéos ou charger des images qu'à téléphoner, ce qui exige des débits plus importants.

Il faut donc chercher des bandes de fréquences plus larges et plus élevées! Mais placer plusieurs satellites de communications sur une même bande provoquerait des brouillages... La pression économique jouant, la mise à disposition de bandes de fréquences est devenue un produit « rentable » pour les États. À tel point que l'attribution de nouvelles bandes reste un point récurrent à l'ordre du jour de la CMR¹. Par ailleurs, ouvrir des fréquences de plus en plus élevées

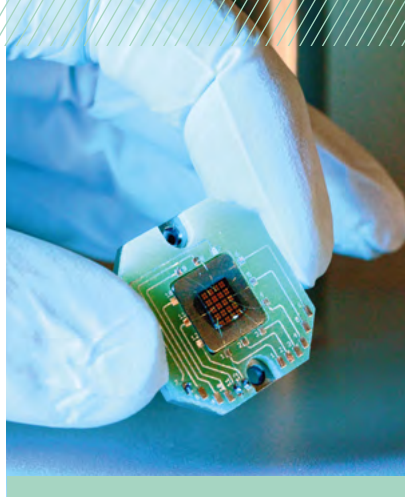
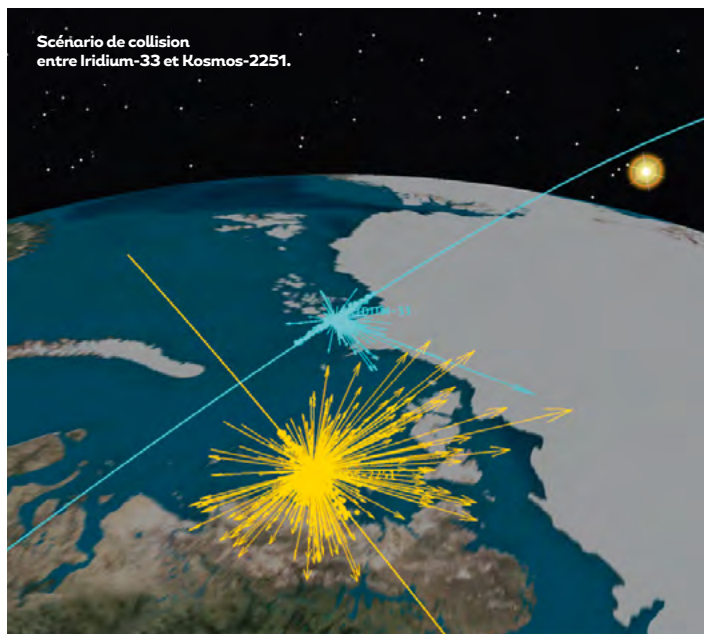
n'est pas sans inconvénient; la distance de propagation est réduite et la qualité de réception diminue. Si le CNES n'est pas décisionnaire dans l'attribution des fréquences – l'Agence nationale des fréquences (ANFR) en est responsable –, il développe des stratégies de prévention. Médiateur, il analyse pour chaque projet la meilleure adéquation aux besoins de l'opérateur.

¹ Conférence mondiale des radiocommunications. Elle est programmée pour novembre 2019 en Égypte.

TRAFIC SPATIAL

COORDINATION ACCRUE POUR RISQUES EXPONENTIELS

En 2009, les satcoms Iridium-33 et Kosmos-2251 entraient en collision. Deux mille objets de plus de 10 cm rejoignaient ceux déjà disséminés dans l'espace. Ce sont, encore aujourd'hui, autant de risques de collision pour les satellites actifs. Dans les années à venir, la situation pourrait être plus critique avec la diversification des acteurs privés et le nombre croissant des constellations Internet. Compte tenu des enjeux de souveraineté dans ce domaine, les États membres du consortium de l'Union européenne sur la surveillance de l'espace (EUSST) ont adopté une approche pragmatique, centrée sur le développement de la surveillance de l'espace et le renforcement des échanges d'informations sur les objets spatiaux. Une base de données partagée facilite ainsi la surveillance des risques de collision; 129 satellites européens sont déjà protégés, notamment grâce au service Caesar du CNES. Des efforts qui contribuent à une coordination accrue entre les opérateurs, associée à plus de transparence et de confiance entre les États.



QUANTIQUE

LA RÉVOLUTION EST EN MARCHÉ

La première révolution quantique a déjà eu lieu; ce sont les lasers, transistors ou circuits intégrés qui équipent votre ordinateur. La deuxième est en cours. Exploitant les caractéristiques de la physique quantique, elle permet le recours à la cryptographie quantique pour rendre inviolable tout type de communications. Ce service de sécurité est très prometteur pour des usages sensibles : transfert de données financières, secrets industriels, échanges diplomatiques, etc. La Chine et les États-Unis ont d'ailleurs déjà investi dans ces technologies. En 2018, la Commission européenne a lancé le Quantum Flagship Program afin de structurer la recherche appliquée et aider à la maturation des technologies. Les communications quantiques doivent en effet relever le défi de la distance; le satellite est donc le mieux placé pour assurer le transport des flux à l'échelle mondiale. Quelles sont les architectures spatiales adéquates? Comment soutenir les industriels dans cet écosystème très concurrentiel? Autant de questions qui mobilisent les énergies européennes. En toute légitimité, les agences spatiales cherchent des réponses notamment via la R&D.



#COMMUNAUTÉ

Tous les jours, sur les réseaux sociaux, le CNES discute avec vous. Vous nous faites part de vos réflexions ou questions. Rejoignez la conversation!;)



@DEPUTECABAREP

Député LaREM 1ère circonscription de Haute Garonne / Membre Commission Affaires étrangères / Près GA Kasakstan / membre DDF/ Co-prés. GE aéronautique et spatial



🎉 Succès de [#Soyouz](#) au Centre [#Spatial](#) Guyanais du [@CNES](#) : mise en orbite réussie des 6 premiers satellites de la constellation [#OneWeb F6](#). Bravo! Un pari audacieux ➡ apporter l'Internet par satellites sur l'ensemble du globe grâce à une méga-constellation 🌍 [@OneWebSatellit1](#)



@GILLESPAYEN

Rédacteur Reporteur Vidéo plurimedia -Formateur JRI - Ouvert aux offres d'emploi - #i4emploiR --- IG ~ FondateurICM @ParisCartePost



🚀 [#Espace](#) De la localisation aux objets connectés, le [@CNES](#) et [@NEXEYA_FRANCE](#) vont lancer, fin 2019, le 1^{er} premier nanosatellite français avant mise en orbite de la constellation Kinéis (2021) <https://buff.ly/2UGL4s7> v [@LaTribune](#) [#tech](#) [#telecoms](#) [#IoT](#) [#bigdata](#) [#aeronautique](#)



@CONNECTBYCNES

Nous déclarons officiellement ouverte la journée [#télémédecine](#) et [#esanté](#). L'apport du satellite au service d'une médecine pour tous. Vraiment pour tous 😊 [@CNES](#) [@Medes_IMPS](#) [@LafontSandrine](#)



@CAROLEDELGA

Présidente de la Région [@Occitanie](#) [#Pyrénées](#) [#Méditerranée](#) [#Occitalité](#) [#ProduitEnOccitanie](#) [#AlimentationOccitanie](#)

La Région [@Occitanie](#) renforce sa collaboration avec le [@CNES](#) pour une stratégie de la donnée au service du spatial et de l'aéronautique, mais aussi pour l'écosystème régional : Internet des objets, véhicules autonomes, changement climatique, environnement, agriculture. [#PAS2019](#)





GRAND ORAL

BRUNO LE MAIRE

MINISTRE DE L'ÉCONOMIE ET DES FINANCES,
dans le gouvernement d'Édouard Philippe,
Bruno Le Maire décortique les spécificités du secteur
français des satcoms et insiste sur la nécessité d'un effort
conjoint entre l'État et l'industrie pour préserver
la souveraineté technologique française
en la matière.



GRAND ORAL

POUVEZ-VOUS DÉCRIRE LE PAYSAGE ACTUEL FRANÇAIS DES TÉLÉCOMMUNICATIONS SPATIALES ? COMMENT S'INSCRIT-IL DANS LE PAYSAGE MONDIAL ?

Bruno Le Maire : La France dispose de deux acteurs industriels majeurs, reconnus dans le monde entier : Airbus Defence and Space et Thales Alenia Space. Nous jouissons également d'un grand opérateur satellitaire international, Eutelsat. Ces entreprises entraînent tout un écosystème français de fournisseurs et de sous-traitants parmi les plus complets et les plus performants au monde.

QUELLE PLACE CE SECTEUR OCCUPE-T-IL DANS L'ÉCONOMIE FRANÇAISE ?

B. L. M. : Derrière le sujet des satcoms, c'est de toute l'industrie spatiale qu'il est question. Cette vision globale est nécessaire car l'équilibre économique de nos industriels repose sur l'ensemble des marchés. S'agissant du secteur de la construction des satellites, il pourrait paraître assez marginal dans l'économie française, avec une dizaine de milliers d'emplois directs et un chiffre d'affaires d'environ 5 milliards d'euros. En réalité, les infrastructures spatiales sont devenues des actifs essentiels à des pans entiers de l'économie. C'est grâce à ces infrastructures que nous bénéficions des prévisions météorologiques ou de la géolocalisation par satellite. La maîtrise des systèmes orbitaux constitue ainsi un intérêt vital pour l'économie nationale et a

un impact concret sur la vie quotidienne des Français.

CETTE PLACE A-T-ELLE ÉVOLUÉ CES DERNIÈRES ANNÉES ? AVEC QUELLES TENDANCES ? COMMENT VOYEZ-VOUS CETTE ÉVOLUTION DANS LES CINQ, DIX, VINGT ANS À VENIR ?

B. L. M. : Le caractère stratégique des systèmes orbitaux ne sera pas remis en cause à l'avenir, bien au contraire. Pour revenir aux télécommunications, nous assistons aujourd'hui à une véritable révolution avec l'avènement des satellites totalement flexibles, c'est-à-dire reconfigurables en orbite par logiciel. Cela ouvre la voie à une fabrication en série de satellites devenus des commodités, avec une réduction drastique des coûts de production à l'unité grâce à une industrialisation optimisée que rend possible la fabrication en série. D'ici à dix ou vingt ans, nous pourrions assister à une transformation radicale de ce secteur, avec pourquoi pas des sociétés de leasing et des marchés de satellites d'occasion, comme pour l'aviation civile aujourd'hui.

QUEL RÔLE LE NUMÉRIQUE A-T-IL JOUÉ ? COMMENT LA FRANCE S'EMPARÉ-T-ELLE DE LA QUESTION ?

B. L. M. : Le numérique a joué et joue un rôle majeur dans le développement de l'industrie

spatiale. La numérisation des charges utiles de télécommunications permet plus de flexibilité, la numérisation des chaînes de production est nécessaire pour passer à la fabrication en série et, enfin, la transformation numérique de la société demande de plus en plus de solutions de connectivité. Pour l'Internet très haut débit dans les zones blanches ou la connectivité en mobilité, par exemple, les satellites constituent un élément essentiel. L'État français est très impliqué sur l'ensemble de ces volets ; je citerais le plan « satellite très haut débit », le plan de soutien à l'industrie du futur ou encore le satellite Konnect pour lutter contre la fracture numérique.

PLUS GÉNÉRALEMENT, QUELLES SONT LES FORCES ET LES FAIBLESSES DU SECTEUR INDUSTRIEL DES SATCOMS FRANÇAIS PAR RAPPORT À LA CONCURRENCE MONDIALE ?

B. L. M. : Ce secteur a de très nombreux atouts : excellence technologique, ressources humaines exceptionnelles à tous les niveaux de qualification, deux maîtres d'œuvre tirant un écosystème complet de fournisseurs et de sous-traitants performants, des institutions publiques fortes avec le CNES ou l'Onera¹... Sa particularité est sa très forte exposition au marché commercial concurrentiel, au contraire de ses concurrents américains ou chinois, qui

« LES INFRASTRUCTURES SPATIALES SONT DEVENUES DES ACTIFS ESSENTIELS À DES PANS ENTIERS DE L'ÉCONOMIE »



GRAND ORAL



BRUNO LE MAIRE

MINISTRE DE L'ÉCONOMIE
ET DES FINANCES

« NOUS FAISONS FACE
À UN RISQUE DE
DÉCLASSEMENT
PROGRESSIF DE NOTRE
INDUSTRIE SPATIALE »

s'appuient d'abord sur une demande institutionnelle qui leur est réservée. Cette situation stimule l'innovation et la créativité des industriels français, ce qui est à mes yeux un autre atout majeur. Malgré tous ces atouts, nous faisons face à un risque de déclassement progressif de notre industrie spatiale. Nous avons assisté à l'émergence de nombreux acteurs nouveaux dans le secteur dont SpaceX, au développement de projets de mégaconstellations de satellites en orbites basses dont aucun n'est européen, ou encore tout récemment au lancement du premier remorqueur de l'espace à vocation commerciale, également américain. De plus en plus d'États s'intéressent au spatial et cherchent à acquérir un accès autonome à l'espace, le risque d'une militarisation accrue de

l'espace s'intensifie, tandis que la course vers la Lune ou vers Mars exacerbe les rivalités entre les Américains et les Chinois. Tout me laisse à penser que ces mutations profondes du secteur spatial n'en sont qu'à leurs débuts. Et face à ces mutations, nous ne nous adaptons pas assez vite. Pour répondre à ces enjeux, une vision stratégique partagée entre industrie et État est à construire, au niveau européen. Les règles de l'ESA ont été définies pour promouvoir la coopération scientifique, et non pour réagir rapidement aux évolutions concurrentielles avec des ruptures tant technologiques que de modèle d'affaires. De plus, malgré des progrès récents, nous avons encore du mal à nous entendre entre grandes puissances européennes pour mettre en place une organisation industrielle véritablement optimisée à l'échelle européenne. C'est ensemble, États et industriels, que nous devons réagir pour préserver notre souveraineté technologique en matière de spatial.

QUELLES SONT LES MARGES DE PROGRÈS EN TERMES DE COMPÉTITIVITÉ ? LES LEVIERS À ACTIONNER ?

B. L. M. : Nous avons besoin de soutenir conjointement le développement des briques technologiques d'avenir, de faire émerger de nouvelles utilisations des données spatiales pour soutenir la demande privée en systèmes orbitaux et, surtout, d'aller plus loin dans l'optimisation industrielle en Europe, aussi bien pour les lanceurs que pour les satellites.

SELON VOUS, QUEL EST LE RÔLE D'UN ÉTABLISSEMENT COMME LE CNES EN PARTICULIER DANS CE SECTEUR ?

B. L. M. : Le CNES doit être au cœur de la transformation du secteur spatial national, en s'adaptant pour accompagner les changements. Je pense que le CNES peut avoir plus d'impact par exemple dans le domaine du soutien aux briques technologiques émergentes ou en matière de transfert de technologies au secteur privé. Il pourrait également mettre l'accent sur son rôle de maîtrise d'ouvrage en prescripteur des besoins institutionnels, tout en responsabilisant davantage les industriels dans la maîtrise d'œuvre. Enfin, l'articulation entre son action et celle de l'ESA pourrait certainement évoluer au regard des nouveaux défis de la filière. J'attends du CNES qu'il soit force de propositions sur tous ces enjeux.

1. Office national d'études et de recherches aérospatiales

Profil

2010-2012
Ministre de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche, de la Ruralité et de l'Aménagement du territoire

2009-2010
Ministre de l'Agriculture, de l'Alimentation et de la Pêche

2008-2009
Secrétaire d'État aux Affaires européennes



EN IMAGES



FORDISME EN ORBITE BASSE

S'inspirant du modèle économique impulsé en 1910 par Henry Ford dans l'automobile, l'américain OneWeb s'attaque aux satellites en série grâce à trois lignes d'assemblage automatisées et digitales, dont une française développée avec Airbus. Chacune fabrique deux satellites de 150 kg par jour, ici en phase de test, optimisés pour fonctionner exactement cinq ans. Le coup d'envoi a déjà été donné en février 2019 depuis le Centre spatial guyanais avec le lancement des six premiers exemplaires. Bientôt, une constellation de 648 satcoms en orbite basse connectera toute la planète avec des temps de latence réduits. Si le système s'avère rentable, d'autres giga-constellations sont déjà prêtes à fleurir.



EN IMAGES



UN BALLON PEUT EN CACHER UN AUTRE

Loon n'est pas une méduse géante mais bien un ballon stratosphérique lâché en grappe par Google. Objectif : créer des réseaux Internet haut débit pour les régions les plus reculées du globe. S'inspirant du ballon « potiron » développé par le CNES, Google a eu la bonne idée de le rendre manœuvrable pour qu'il reste au-dessus de la même zone, entre 16 et 21 km d'altitude pendant une centaine de jours ! L'astuce ? L'enveloppe principale, gonflée à l'hélium, cache un second ballon rempli d'air. Jouant avec les vents grâce à d'étonnants algorithmes, le ballon descend par ajout d'air et inversement. Enthousiasmé, le CNES a apporté son expertise ballons à Google, qui lui a permis de qualifier des capteurs du projet Stratéole sur Loon.



EN CHIFFRES



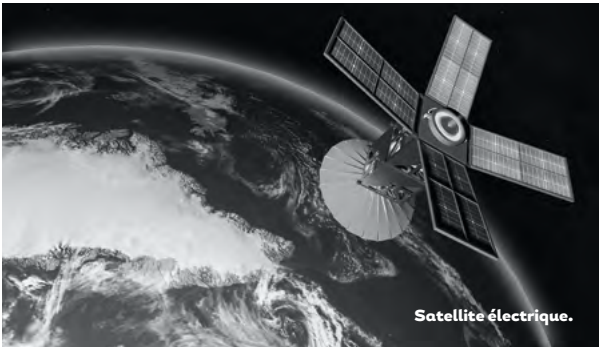
PLAN FRANCE TRÈS HAUT DÉBIT

Ce plan prévoit « du bon débit pour tous en 2020, du très haut pour tous en 2022, voire une société du gigabit en 2025 ». Le satellite complète naturellement les insuffisances des réseaux terrestres sur les zones blanches ou grises. Le satellite Konnect VHTS va participer activement aux objectifs de ce plan. Avec ses 500 Gbit/s sur le territoire européen, le système pourra fournir un accès THD à Internet à un prix comparable à celui des offres terrestres. Parallèlement, le projet sera la vitrine du savoir-faire industriel français en vue de futures exportations.

5G

POURQUOI « 5G » ? D'abord parce qu'il s'agit de la cinquième génération des standards pour la téléphonie mobile. Mais aussi parce que les opérateurs veulent capitaliser sur cinq de ses caractéristiques : vitesse, latence, couverture réseau, capacité et densité. La 5G devrait fédérer l'ensemble des réseaux de télécommunications, mobiles et fixes : 2G, 3G, 4G, fibre, câble ou spatial.

FILIÈRES

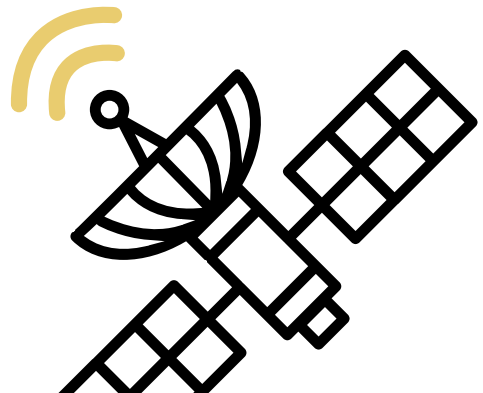


La propulsion électrique offre des capacités d'emport additionnelles intéressantes pour les opérateurs. L'industrie y trouve aussi son compte puisqu'elle crée de véritables filières. Dans le cadre du volet spécifique « Satellite à propulsion électrique » du deuxième Programme d'investissements d'avenir, une filière de plateformes électriques intermédiaires, Eurostar « EOR », a été développée. Elle a non seulement fourni une première solution de satellite à propulsion électrique, mais a aussi rendu possible l'emport, sur une même plateforme, de trois charges utiles¹, dont une multifaisceaux innovante en bande Ku spécialement conçue pour les services Internet de haut débit en vol. L'augmentation des capacités d'emport se traduit en gains de compétitivité substantiels pour les opérateurs. Le développement de ces filières illustre parfaitement les partenariats exemplaires tissés entre le CNES et l'industrie.

1. Ensemble d'instruments

3%

On estime que 3 % des foyers français ne pourront pas accéder au haut débit par les moyens filaires avant 2035. C'est donc à ces derniers qu'est destiné le haut débit spatial.





LE CNES EN ACTIONS

TÉLÉCOMS

LA RÉVOLUTION PASSE PAR L'ESPACE

ESSOR NUMÉRIQUE ET BANALISATION DE L'ACCÈS À L'ESPACE ONT BOULEVERSER LE PAYSAGE DES TÉLÉCOMS SPATIALES. NAVIGANT ENTRE UNE CONCURRENCE DE PLUS EN PLUS FÉROCE ET DES INTERNAUTES DE PLUS EN PLUS EXIGEANTS, LE CNES S'ADAPTE, INNOVE ET ANTICIPE, ENTRAÎNANT DANS SON SILLAGE LE TISSU INDUSTRIEL FRANÇAIS.



LE CNES EN ACTIONS

E

n 2018, on estimait à 4 milliards le nombre d'utilisateurs du web. Et ce n'est qu'un début! 5G, 6G et même 7G devraient encore renforcer cette tendance au fil des

années. À condition bien sûr de garantir et d'amplifier la couverture globale des territoires par tous les moyens, terrestres ou spatiaux. Depuis toujours, le CNES a fait de ses R&D un creuset d'où émergent des innovations performantes au service de l'utilisateur mais aussi de l'industrie française.

LE SPATIAL, ACTEUR ALTERNATIF MAIS INCONTOURNABLE

Du haut de son orbite, à 36 000 km d'altitude, le satellite de télécommunications a contribué à populariser les activités du CNES. Entre 1984 et 1996, par exemple, le Centre national a lancé pas moins de sept satellites pour le compte de Télédiffusion de France (TDF), filiale de France Télécom. La commande était alors publique. Avec l'arrivée de « bouquets » de télévision payante (1990), le « commercial » a pris le pas sur l'« institutionnel », induisant la privatisation des opérateurs. À partir de 1994, le déploiement à grande échelle de câble et fibre optique pour un « service Internet fixe grand public » laisse des pans entiers de « zones blanches ». Le CNES impose alors le spatial comme service complémentaire. Bénéfice immédiat : la fracture numérique se résorbe. Mais ce n'est pas tout. Quand les missions d'urgence ont besoin de relais dans les coins les plus reculés de France ; quand télémédecine et vidéo-assistance viennent à la porte des Ehpad en zone rurale ; ou encore quand la charte internationale Espace et catastrophes majeures est déclenchée face à un drame de grande ampleur, c'est aussi sur les télécoms spatiales que l'on peut compter.

UN SOUTIEN ACTIF À LA COMPÉTITIVITÉ INDUSTRIELLE

Aujourd'hui, « le secteur spatial connaît une profonde mutation, stimulée par la révolution numérique, la miniaturisation de la technolo-



50 %

Malgré une baisse significative des commandes de satcoms (cf. p. 10), les maîtres d'œuvre industriels Thales et Airbus obtiennent une part de marché international des satellites commerciaux géostationnaires de 50 %.

gie et la baisse des coûts d'accès à l'espace », explique Jean-Pierre Diris, sous-directeur des Projets de télécommunications et navigation au CNES. Des facteurs qui exacerbent la concurrence et obligent « le spatial à se situer dans des écosystèmes plus larges ». Il a sa place dans le Plan France Très Haut Débit (cf. p. 18) lancé par l'État en 2013 pour booster l'économie nationale. Le CNES soutient alors la recherche et le développement de briques technologiques à haute valeur ajoutée, des investissements profitables aux industriels et à l'écosystème spatial français. Le projet THD-Sat, par exemple, cumule des « pépites » (cf. p. 23). Son innovation sera d'ailleurs réinvestie dans le satellite Konnect VHTS¹ pour le compte de l'opérateur européen Eutelsat. Parallèlement, le CNES accompagne aussi des projets de constellations comme OneWeb (cf. p. 16), une nouvelle approche du service Internet à très haut débit.



LE CNES EN ACTIONS

D'UN BOUT À L'AUTRE DE LA CHAÎNE

Dans ce nouveau paysage régi par la course à la compétitivité, le CNES mesure ses responsabilités. « Sa contribution au développement économique national est dans son ADN », insiste Jean-Pierre Diris. Outre la technologie, il contribue à la stratégie nationale globale. Il oriente et contrôle l'efficacité des financements publics nationaux comme ceux des Programmes d'investissements d'avenir (cf. p. 7) dans une approche « système » qui va de l'amont du projet à l'aval. Très au fait des enjeux économiques spatiaux, il accompagne le tissu industriel dans les choix techniques les plus adaptés au contexte. Il permet

aussi la fertilisation croisée des innovations qui déboucheront sur le déploiement de nouvelles applications.

Tout comme la couverture des satellites, le CNES ne s'arrête pas aux frontières. Membre éminent de l'ESA, il s'associe à de nombreuses initiatives comme les programmes Artes et « Satellite for 5G » (cf. p. 6). Enfin, il se projette dans l'avenir grâce à l'approche des technologies optiques, quantiques ou les nouvelles classes de satellites (cf. p. 8 à 11) qui modèleront demain nos manières de communiquer.

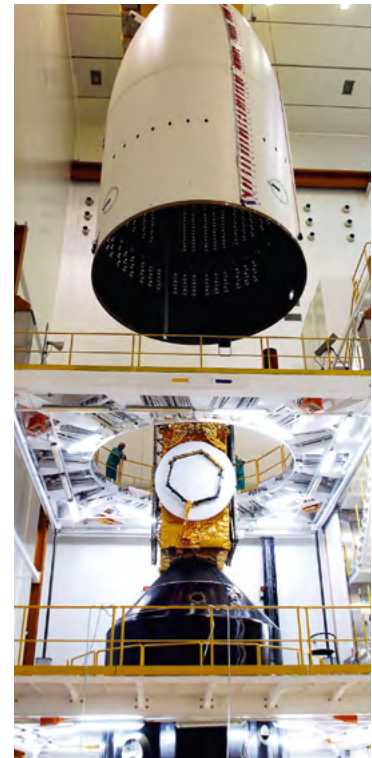
1. Very High Throughput Satellite

TÉLÉCOMS MILITAIRES

À L'ABRI DES INDISCRÉTIONS

La défense, pour laquelle confidentialité et sécurité des renseignements sont indispensables, est elle aussi tributaire du débit. En qualité de partenaire, le CNES répond à un cahier des charges très précis de la Direction générale de l'armement (DGA) pour la conception des satellites militaires. C'est le cas de la filière Syracuse, qui assure depuis plus d'une trentaine d'années la sécurisation des communications sur les théâtres d'opérations extérieures et conforte la sécurité nationale. Les nouvelles générations font en effet preuve d'une résistance exacerbée au brouillage et bénéficient de débits fortement amplifiés. Quant aux satellites duaux, c'est-à-dire d'usage civil et militaire, ils ont fait leurs preuves pour des missions moins sensibles. Fruit d'une coopération franco-italienne

et lancé en 2014, Athena-Fidus, par exemple, vient en renfort des satellites militaires mais répond aussi aux besoins de communautés institutionnelles nécessitant des communications satellitaires sécurisées : sécurité civile, police, gendarmerie, brigade antiterroriste, etc. Enfin, l'Union européenne se soucie des communications sensibles entre ses États membres qui véhiculent des informations confidentielles sur l'aide humanitaire, les interventions d'urgence ou les communications diplomatiques. Avec GovSatCom, elle travaille à un projet de mutualisation et de partage des informations entre pays européens qui pourra servir certains objectifs institutionnels comme la politique de sécurité et de défense commune ou encore l'agence de surveillance des frontières.



Mise sous coiffe du satellite militaire Syracuse 3.



LE CNES EN ACTIONS



DÉFI

CONNECTER AUTREMENT, CONNECTER CONSTAMMENT

*Un accès rapide à tout, toujours et partout.
En matière de télécommunications, l'exigence
des usagers est sans pareille. Les satisfaire tout
en résistant à la concurrence féroce des géants
privés du numérique : tel est le défi à relever
par le spatial.*



Aujourd'hui, on n'échange plus seulement des sons. Avec sa connexion, l'utilisateur veut un peu de téléphonie, mais surtout des informations en temps réel, des achats dématérialisés et du paiement bancaire sécurisé. Chez lui, dehors, dans les transports, à l'étranger. Comment est-il connecté ? Via le câble, la fibre optique, le spatial ? Et demain, via les ballons, les drones ? Pour lui, l'essentiel est ailleurs. Avec la 5G (cf. p. 7), l'utilisateur aura un service « transparent », c'est-à-dire une connexion dont il ne connaîtra ni la technologie ni le fournisseur. Ce contexte est celui dans lequel l'industrie française doit s'inscrire pour résister à la concurrence effrénée, en particulier celle des GAFA (Google, Apple, Facebook, Amazon). Car ces derniers remettent en question les contraintes de régulation et les règles de protection des données. Sans référence à une réglementation stricte, l'utilisation de certaines bandes de fréquences (cf. l'interview d'Alexandre Vallet sur le CNESmag numérique) pourrait parasiter les satellites d'observation de la Terre ou de météorologie. En se plaçant sur le marché des infrastructures de télécom-

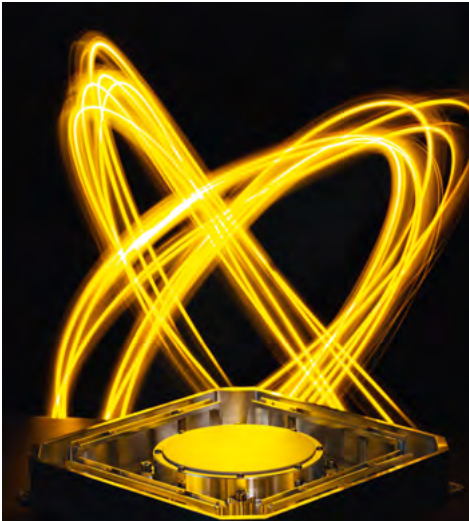


LE CNES EN ACTIONS

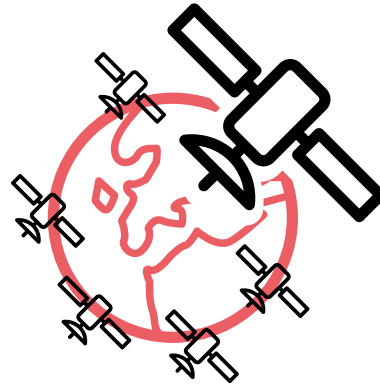
munications, ces nouveaux acteurs pourraient bien les fragiliser fortement avec des projets d'envergure mondiale.

LA COURSE AUX DÉBITS

Pour aider l'industrie nationale à supporter la concurrence, le CNES a replacé l'exigence du « toujours et partout » au cœur de ses R&D. Sa priorité : la course au débit. Plus les fréquences sont hautes, plus les débits sont élevés. Les nouvelles générations de satellites de communications utiliseront donc les bandes Q/V et K_a (cf. p. 9) pour augmenter la capacité des satellites jusqu'au téraoctet par seconde. Différentes innovations seront associées au niveau des charges utiles comme l'échantillonnage de la couverture. L'optimisation de la transmission et la prise en compte des nouveaux standards sont aussi des avancées cruciales pour servir de manière satisfaisante les internautes de demain. Ces technologies de pointe sont déjà à la disposition des industriels pour répondre aux demandes des opérateurs. Elles sont orientées très haut débit Internet mais permettront également de proposer des solutions plus flexibles qui répondent aux besoins du marché. Une manière de vitaminer la reprise amorcée.

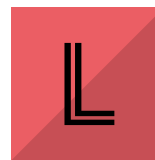


Antenne de télécommunications à bord du nanosatellite Angels.



PERFORMANCE LES MULTIPLES RÉPONSES DU SPATIAL

Satellites à très haut débit, flexibles ou encore constellations... l'espace regorge de solutions pour faire face aux bouleversements actuels et à venir du marché. Avec un maître mot : l'innovation.



Les satellites géostationnaires de télécommunications occupent une position privilégiée pour transmettre données et voix ; c'est leur vocation originelle. En revanche, leurs performances sont moindres pour certains services Internet : le signal est en effet assujéti à un double aller-retour qui impose un temps de latence incompressible. Plusieurs pistes visent à pallier ce manque de réactivité.

INTERNET EN PREMIÈRE LIGNE

THD-Sat est un programme de haute technologie mené dans le cadre du Programme d'investissements d'avenir « Économie numérique ». Il a été conçu pour identifier toutes les briques technologiques profitables aux besoins de l'Internet. Konnect VHTS, satellite à très haut débit commandé par Eutelsat en 2018 en



LE CNES EN ACTIONS



partenariat avec l'opérateur Orange, va bénéficier de ces travaux. C'est l'une des réponses les plus ambitieuses à la fracture numérique. Et pour cause : il va embarquer, sur un satellite Spacebus Neo d'une capacité d'environ 500 Gbit/s de débit instantané, une instrumentation totalement inédite concentrant dix ans de R&D du CNES. Propulsion électrique, processeur numérique THD, régulation thermique active, antennes multifaisceaux en bande K_u et Q/V ... du jamais vu ! Orienté Internet, Konnect VHTS desservira des centaines de milliers de foyers, en particulier dans des zones isolées. Ses services et performances seront équivalents à ceux proposés par la fibre optique.

LES CONSTELLATIONS À LA RESCOURS

Afin de réduire le temps de latence des applications les plus contraignantes comme les jeux en ligne ou le trading haute fréquence, c'est un concept basé sur des constellations

au plus près de la Terre qui est proposé. Formées de minisatellites de communications en orbite basse (1000 km) comme OneWeb (cf. p. 16) ou encore de ballons comme Loon (cf. p. 17), ces constellations ont l'avantage de réduire la distance et donc le temps de latence.

Autre atout : la sécurité offerte face aux agressions. En effet, il serait difficile de détruire la totalité d'un réseau de centaines ou de milliers de satellites.

En revanche, les satellites étant défilants, ces constellations doivent être suffisamment fournies afin d'assurer un service permanent. SpaceX et Amazon ont impressionné le marché mondial avec l'annonce de constellations de plusieurs milliers de satellites. Mais l'Europe n'est pas en reste : avec le soutien du CNES, des industriels français ont déjà lancé les 6 premiers prototypes de la flotte OneWeb, qui devrait comporter à terme 648 minisatellites de 150 kg.



LE CNES EN ACTIONS

LA FLEXIBILITÉ COMME NOUVELLE APPROCHE

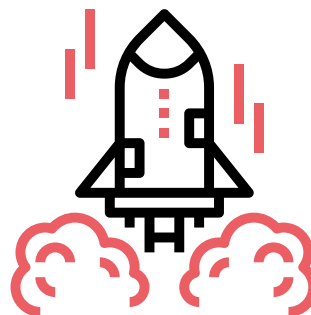
Face à un secteur en pleine mutation, prévoir demain ne suffit pas ; il faut appréhender des solutions pour après-demain. C'est en tout cas ce que pense le CNES. L'idée d'un satellite générique, multiservice et à bas coût – en un mot, flexible – fait son chemin. Quel opérateur ne rêve pas d'avoir à sa disposition un satellite qui pourrait se reconfigurer en orbite pour s'adapter en temps réel à la demande ? Cette flexibilité nécessite de nouvelles technologies, que le CNES a identifiées il y a plus de dix ans. À la fin des années 2000, il a mis en place d'ambitieux programmes de développement, Flip et Fast, pour supporter leur développement. Ces programmes précurseurs ont permis l'émergence de solutions innovantes de satellites flexibles telles que Space Inspire de Thales Alenia Space, une ligne de satellites 100 % digitaux d'environ deux tonnes capables de changer de mission en orbite. Ils sont maintenant proposés sur le marché commercial.

Avec l'opérateur historique britannique Inmarsat, Airbus Defence and Space va aussi tester cette notion de flexibilité. OneSat, une plateforme électrique « prête à l'emploi », pourrait ainsi révolutionner le marché. Elle pourra être reconfigurée directement en orbite grâce à un système de traitement embarqué et des antennes actives. Ces satellites pourront permettre à l'opérateur d'ajuster en quasi-temps réel la couverture, la puissance ou la canalisation, afin de s'adapter au mieux à l'usage qu'il veut en faire.



La propulsion électrique

redonne des couleurs à l'industrie spatiale. Avec le soutien financier de l'État, 17 satellites sont en cours de fabrication ou de développement pour des organismes publics ou privés.



LANCEURS L'OFFRE S'ADAPTE

Le marché des satellites de communications et celui des lanceurs sont intimement liés. Pour rester compétitive, l'offre lanceur française doit elle aussi concilier gain de temps et baisse des coûts.



u Centre spatial guyanais, l'activité Ariane est aujourd'hui constituée pour un tiers de commandes publiques et pour deux tiers de commandes commerciales, des télécommunications principalement. Conscients de l'évolution profonde du marché mondial des télécommunications spatiales, le CNES et ArianeGroup s'adaptent aux nouveaux enjeux commerciaux. Avec un atout de taille : Ariane 6. En effet, les satellites de communications sont de masse plus légère – le nouveau « standard » est plutôt de trois tonnes. Ariane 6 n'est pas un clone des générations précédentes ; elle a bénéficié d'une démarche d'anticipation pour répondre à toutes les exigences actuelles.

Un des principaux points critiques était la flexibilité, avec comme première piste de travail la capacité à offrir des orbites de lancement plus variées que les générations précédentes. « Avec les moteurs ré-allumables et les systèmes de contrôle des carburants, nous avons acquis la possibilité, avec un seul type de lanceur, de servir des orbites basses, moyennes ou directement géostationnaires, et ainsi de multiplier les opportunités pour la nouvelle génération des télécommunications spatiales », décrit Jérôme Vila, sous-di-



LE CNES EN ACTIONS



Ariane 6.

recteur au CNES. Pari réussi : un satellite à propulsion électrique peut être aujourd'hui lancé directement sur une orbite optimisée ou son orbite finale, sans étape intermédiaire. « C'est un gain de temps, ce qui, pour l'opérateur, induit un gain d'argent », rappelle-t-il. Concernant les coûts des lancements, l'expertise acquise grâce à la continuité de la filière Ariane est également un avantage : « En s'appuyant sur plusieurs technologies éprouvées sur Ariane 5, on ne part pas d'une feuille blanche; il s'agit d'optimiser un lanceur efficace en capitalisant sur cette connaissance intime ». Une efficacité qui se répercute automatiquement sur les coûts de lancement, avec une réduction à peu près de moitié par rapport à Ariane 5 qui est fondamentale dans le modèle économique des futurs satcoms. Enfin, la cadence de tir. La chaîne industrielle Ariane 6 est conçue pour une cadence à peu près double de celle d'Ariane 5. L'avenir pourrait en effet résider dans le lancement de constellations de nombreux satellites telles que OneWeb (cf. p. 16), Kuiper ou Starlink, pour lesquelles le temps de déploiement est un facteur important de réussite. Le lancement depuis la Guyane des six premiers véhicules expérimentaux a été une réussite. ArianeGroup s'appuie pour cela sur une approche stratégique nouvelle qui vise à garantir le « sur-mesure » : une répartition maîtrisée des satellites et la gestion optimale sur plusieurs lancements ou mêlant plusieurs plans d'orbite. En fonction de l'évolution de la masse des satellites, des solutions basées sur la propulsion électrique et/ou combinées à un service de « covoiturage » sont également à l'étude.

2/3

C'est la part
des lancements de satellites commerciaux de télécommunications dans l'activité Ariane.



MATTERE

FLEXIBILITÉ

LA MAGIE DU NUMÉRIQUE

**15 ANS EN ORBITE, C'EST LONG, SUFFISAMMENT LONG
POUR QUE LES BESOINS AIENT EU LE TEMPS**

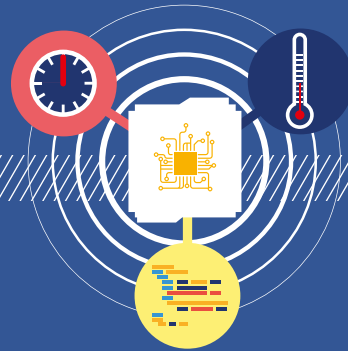
D'ÉVOLUER ! Heureusement, le numérique est en train de doter les satellites de communications d'une capacité inouïe : celle de se reconfigurer totalement sur orbite pour changer de mission, et passer par exemple de services télévisuels à du web. Idéal pour saisir les opportunités commerciales dès leur apparition !

Concrètement, une charge utile numérique transpose les signaux hyperfréquence en séries de bits traités à bord avant de les repasser en analogique pour la diffusion aux utilisateurs. La prouesse vient des composants miniaturisés qui concentrent l'intelligence et opèrent avec une très faible énergie. Sur le même procédé, les indispensables antennes rapetissent et se font « actives ». Elles sont capables de former plusieurs faisceaux pour démultiplier la couverture, habituellement fixe, et l'adapter au trafic.

Wafer (silicium) sur lequel sont découpées les puces constituant le cœur des composants Asic.



INSTANTS T



OBJECTIF UN ARGOS POUR LES OBJETS

Si on remplaçait les animaux par des objets, Argos ferait sa grande entrée dans l'IoT ! C'est tout l'objectif de Kinéis : améliorer le système Argos pour maintenir sa mission environnementale tout en captant de nouvelles applications commerciales. Pour cela, trois outils : une constellation de 25 nanosatellites, un instrument Argos miniaturisé qui chute de 30 à 2 kg et des minibalises. L'effet de constellation augmentant le taux de revisite, Kinéis offrira dès 2022 une géolocalisation toutes les quinze minutes contre deux heures aujourd'hui.

SPÉCIFICITÉ PETIT SIGNAL, FORTE AUTONOMIE

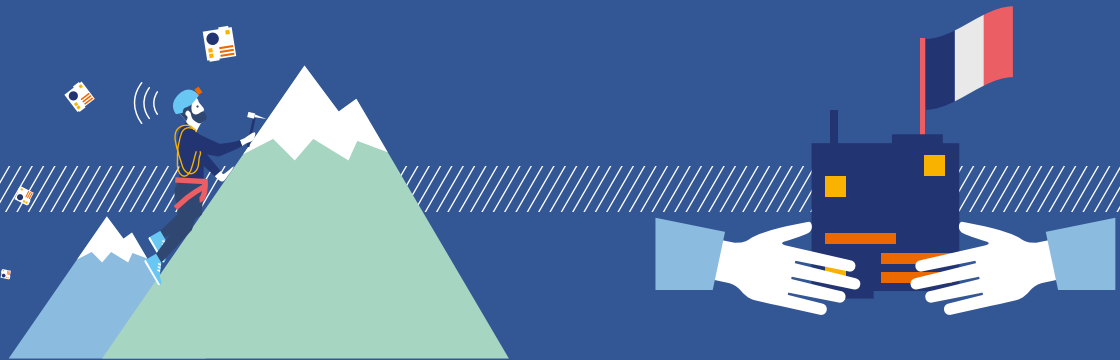
La spécificité de Kinéis repose sur ses petites balises, simples à utiliser. Ces minipuces électroniques envoient en effet très peu de données mais consomment en contrepartie très peu d'énergie. Un système suffisant pour envoyer une information de localisation et des données lues par un capteur, comme une température ou une mesure de pression. Placés en orbite basse, les satellites servent de relais aux balises. Kinéis ambitionne de passer d'environ 20 000 balises aujourd'hui à 2 millions d'ici à dix ans.



INSTANTS T

IMMÉDIATÉ ET PERFORMANCE RÉGISSENT LE MONDE ACTUEL ; LES TÉLÉCOMMUNICATIONS N'Y FONT PAS EXCEPTION. DANS LES PAS DU CÉLÈBRE SYSTÈME ARGOS¹ ET RENFORCÉ D'UNE CONSTELLATION DE 25 NANOSATELLITES, KINÉIS S'ATTAQUE À L'INTERNET DES OBJETS (IOT), UN MARCHÉ QUI REPRÉSENTE 30 MILLIARDS D'OBJETS CONNECTÉS EN 2020.

1. Argos est le système de localisation et de collecte de données par satellite destiné à la surveillance environnementale.



UTILITÉ UNE PROFUSION D'APPLICATIONS

Agriculture, pêche, logistique, plaisance... tous les secteurs d'activité pourront s'appuyer sur ce système de suivi à bas coût. À la recherche de solutions connectées pour l'industrie (par exemple, la numérisation pour l'automatisation de certaines tâches), Objenious by Bouygues Telecom et la Wize Alliance (SUEZ, GRDF, Sagemcom, etc.) ont déjà signé un partenariat avec la société Kinéis. Dans un autre registre, les amateurs de sports extrêmes apprécieront Kinéis Adventure, un kit de localisation léger doté de près d'un mois d'autonomie (contre deux jours jusqu'ici) et d'une balise de détresse Sarsat.

RÉFÉRENCE L'EFFICACITÉ MADE IN FRANCE

Kinéis est une filiale de CLS (Collecte Localisation Satellites), l'opérateur d'Argos créé en 1986 par le CNES. Ce dernier détache aujourd'hui une équipe intégrée pour mener tambour battant le développement de la société, qui hérite de ses dernières technologies. En effet, Hemeria (ex-Nexeya) produit les 25 nanosatellites sur le modèle du cubesat Angels (démonstrateur CNES) ; et Syrlinks, les instruments Argos miniaturisés. En support de l'architecture système, Thales Alenia Space développe quant à lui le centre de mission, les stations sol et le logiciel des charges utiles.



RENCONTRES

CHRISTOPHE OUTIER

Directeur Développement et affaires externes de Nordnet

« Les nouveaux usages réclament vitesse et débit. Pour les plus isolés, la solution satellitaire s'impose »



C'est bien connu, le client est roi, et Christophe Outier est en quelque sorte un « goûteur de télécommunications », celui qui teste les technologies avant que nous les consomions. « *Quand ils déménagent, la première question des Français concerne la qualité de la connexion Internet sur leur nouveau lieu de vie.*

En tant que fournisseur d'accès, notre métier consiste à accompagner les besoins privés et professionnels en s'appuyant sur la meilleure technologie disponible à l'endroit concerné : fibre, ADSL, radio ou satellite. » Un cocktail de technologies reconnues par l'État français qui labellise les offres de Nordnet et propose, selon les loca-

lités, une aide financière pour la solution satellitaire.

Christophe Outier compte parmi les premiers acteurs de cette filiale d'Orange, née en 1995 avec le web, depuis devenue leader de l'Internet par satellite en France. Il se souvient des clés qui ont déverrouillé ce marché : « *Cette technologie a enfin été rendue accessible à tous en 2008 grâce à des kits de connexion simples d'installation et à un tarif abordable. Les abonnements ont alors proposé, dans les prix du marché, un vrai bouquet de services regroupant Internet, télévision, téléphonie fixe et mobile.* »

La révolution suivante est celle du débit, décuplé en dix ans grâce à l'optimisation du matériel et les

nouveaux satellites en bande K_a qui, outre des débits accrus, introduisent la notion de trafic illimité.

« *C'est d'ailleurs l'actualité de 2019* », rebondit l'homme d'affaires, pointant l'offre haut débit illimité par satellite lancée par Nordnet en mai dernier. Souvent au contact des opérateurs satellite pour faire le lien avec les attentes des abonnés, l'homme salue également le CNES pour son travail pédagogique de promotion de la solution spatiale : « *Un administré averti en vaut deux ! En attendant le déploiement complet de la fibre ou comme connexion de secours, les télécommunications spatiales apportent confort, sécurité et ouverture au reste du monde.* »



RENCONTRES

FRANÇOIS GAULLIER

Directeur des Satellites de télécommunications d'Airbus Space Systems

« La flexibilité va gagner en capacité avant l'avènement des connexions optiques »



Embauché chez Matra pour travailler, à l'époque, sur l'ergonomie de la navette Hermès, François Gaullier voit le projet disparaître le jour même de son arrivée... **Il bascule alors sur les satcoms, enchaînant ingénierie, projet et production tandis que Matra devient progressivement Airbus Space Systems, un des leaders mondiaux des satcoms.** « En 2019, nous avons capté six contrats sur dix du marché ouvert » savouret-il, aujourd'hui responsable de toute la ligne satcoms. Comme ses homologues, il constate « un secteur en transformation rapide, avec un rebond du marché catalysé par l'arrivée de nouveaux produits reconfigurables en orbite. » **Chez Airbus, la flexibilité**

s'appelle OneSat; les trois premiers exemplaires décolleront en 2023.

D'une conception standardisée pour l'orbite géostationnaire, ces satcoms d'environ trois tonnes profitent d'un développement rapide suivi d'une fabrication réduite à 18 mois. Pour cela, Airbus tire profit de l'expérience OneWeb, dont il a conçu les satellites et l'unité de production toulousaine. L'entreprise ne délaisse pas pour autant son produit phare : « Les gros géostationnaires nécessitent 24 à 42 mois de fabrication mais sont optimisés pour une mission bien précise, quand les satellites standardisés apportent la flexibilité requise sur de nouveaux marchés non figés. »

Rappelant que le CNES est un pré-

cieux soutien du leadership français, François Gaullier attend de lui « une coopération très en amont sur les besoins et technologies des missions futures afin que, le jour venu, le sujet soit connu et anticipé ». Et les perspectives ne manquent pas. Aujourd'hui, les marchés naissants dans un contexte de 5G réservent un rôle majeur aux satcoms. **Demain, Airbus l'avionneur proposera, grâce à sa composante spatiale, des solutions optimisées pour l'aéroconnectivité.** À l'horizon 2025, l'expert décrit des satcoms dont « les connexions optiques remplaceront la radiofréquence, au spectre déjà relativement saturé, afin de démultiplier la capacité ».



RENCONTRES

PASCAL HOMSY

Vice-président exécutif des activités Télécommunications de Thales Alenia Space
« On ne peut plus fonctionner à la demande »



À la fin de ses études, en 1991, il hésitait entre spatial et aéronautique quand on lui a vivement recommandé le premier : « Dans le spatial, il y a du boulot pour au moins vingt ans ! » Conseil avisé ! **Pascal Homsy a réalisé un tel parcours dans les télécommunications que Thales Alenia Space l'a sollicité cette année encore pour lui confier son pôle dédié, en pleine ébullition.**

Selon lui, « le marché jusque-là prépondérant de la télévision bascule d'un mode linéaire sur celui de la vidéo à la demande. Nous pensons qu'il atteindra son pic d'ici à 2022, au profit de la mobilité et de l'Internet des objets, propulsés par l'arrivée de la 5G. » Entendez l'ultra-haut débit

mobile, apte à piloter des millions d'objets dans le monde, et bientôt normalisé comme standard des télécommunications. « Cela signifie que **les satcoms feront partie intégrante de l'infrastructure 5G pour fournir des services en complément des couvertures terrestres ou sur des zones où elles sont absentes** », poursuit-il. Dans cette perspective, TAS dévoile Space Inspire, des satellites ultraflexibles pour l'orbite basse ou moyenne. Avoisinant les deux tonnes, ils sont entièrement reprogrammables, peuvent modifier leur couverture et leur position orbitale. « Également capable de partitionner leur capacité pour servir plusieurs clients, l'aspect générique de la ligne

laisse envisager une production de 6 à 8 satellites par an, ce qui est supérieur aux cadences actuelles de satellites classiques », projette l'expert.

À l'heure où les opérateurs doivent renouveler leurs satcoms en fin de vie, la France dispose de deux des trois leaders industriels du domaine, et du CNES ! « Clé fondamentale de nos programmes de développement, le CNES nous a donné un leadership incontesté dans le VHTS, des satellites extrêmement puissants au compte des plus gros engins volants. Plus que jamais, nous avons besoin de lui pour finaliser Space Inspire et lancer les premiers exemplaires dès 2022 », s'enthousiasme Pascal Homsy.

Historien des sciences
et théologien,
Jacques Arnould
est chargé de mission
pour les questions
éthiques au CNES.



ESPACE ÉTHIQUE



JACQUES ARNOULD

CONSPIRATION

*Se jouant apparemment de tous les obstacles, spatiaux et même temporels,
jamais les humains n'ont autant communiqué entre eux... mais peut-être
aussi couru le risque de s'ignorer entre eux !*

De l'étymologie grecque qui signifie « au loin, à distance », le préfixe « télé » en est venu à désigner les techniques qui permettent de réduire à la fois l'espace et le temps. « *Ici n'est plus, tout est maintenant* » : d'une formule bien frappée, Paul Virilio résume l'essence, le principe et la fonction des moyens de télécommunication (mais aussi de télé-observation et de télésurveillance) dont nous disposons désormais. Ces moyens, ces pouvoirs, ressemblent à plus d'un égard à ceux que nos ancêtres attribuaient aux occupants de la voûte céleste, dieux, anges ou démons : l'ubiquité, l'instantanéité, l'immédiateté, la simultanéité, l'omnivoyance, l'omnipuissance. Et lorsque ces moyens sont spatiaux, la ressemblance devient presque troublante, voire effrayante : sommes-nous à la hauteur des responsabilités associées à de tels pouvoirs ? Le réseau qui désormais entoure la Terre et nous permet de nous informer et de communiquer entre nous, avec une facilité et une rapidité jusqu'alors unimaginables, paraît donner raison à Marshall McLuhan : le XX^e siècle et désormais le XXI^e ont réussi à bâtir une réalité qui fait penser à un « village global » ou même à une sphère de consciences reliées entre elles, une noosphère selon le terme forgé par des penseurs dès la première moitié du XX^e. Mais est-ce vraiment le cas ?

DECLINER L'INVITATION À L'INDIFFÉRENCE

Sans doute sommes-nous parvenus à faire disparaître les distances spatiales et temporelles, mais non sans prendre le risque d'escamoter l'approche, l'appréhension sensible des êtres et des choses au profit de leur possession virtuelle. « *L'absence de perception immédiate de la réalité*, écrit encore Virilio, engendre un déséquilibre redoutable entre le sensible et l'intelligible » ; un déséquilibre dont la pratique symbolique nous avait jusqu'alors préservés. En effet, si le symbole instaure un écart entre les êtres ou avec la réalité, il ne vide pas cette distance : il lui donne au contraire une signification, un sens, grâce à la conspiration du sensible et de l'intelligible. Une semblable conspiration doit animer nos moyens de communication.

Communiquer, surtout « à distance », doit donc éviter toute désertion du réel, en même temps que toute confusion avec lui. Dans les deux cas, il s'agirait d'une éjection pure et simple d'autrui, d'une invitation à l'insensibilité, à l'indifférence. Nous pourrions alors ressentir la honte décrite par Peter Sloterdijk, « *le fait de ne pas s'insurger suffisamment contre l'avisement omniprésent du vivant* ». Comment ne pas souhaiter que nos progrès techniques nous évitent une telle honte !



EN VUE



CESARS

Conseil et expertise en télécoms spatiales

On peut être industriel, patron de PME, expert dans son domaine mais ignorant des télécommunications spatiales. Pourtant, quels que soient le domaine et le volume d'activités, il est difficile de se passer de télécommunications. Alors que faire quand il n'y a pas de réseau, ou si peu ? Chercher la solution du côté du ciel ! Le CNES a décidé d'apporter son aide aux entreprises et collectivités publiques avec CESARS. L'équipe d'ingénieurs experts qui le compose est à votre service pour comprendre vos besoins, identifier les solutions satellitaires pertinentes, et vous orienter vers les fournisseurs de services correspondants. Besoin de démonstration ? Des moyens techniques complets sont également disponibles pour des tests en conditions réelles sur place ou dans vos locaux. C'est ouvert à tous, et gratuit dans la limite de 10 jours par an.

COLLOQUE

INTERNATIONAL TECHNICAL SYMPOSIUM ON NAVIGATION AND TIMING (ITSNT)



Après cinq années de succès, le CNES et l'École nationale de l'aviation civile (Enac), co-organisateur de l'événement, vont donner une nouvelle dimension à l'ITSNT. Bisannuel, ce symposium est associé au Toulouse Space Show programmé à ce jour au printemps 2020. La

première édition de cette nouvelle version bénéficiera d'une audience exceptionnelle : elle inaugurera le premier salon du Meett, le nouveau Parc des expositions-Centre de conventions de la métropole toulousaine. Une occasion d'augmenter encore le nombre des sessions et des participants qui enrichiront son réseau.

PLUS D'INFOS : WWW.ITSNT.FR

TÉLÉMÉDECINE EN EHPAD

PAS SI COMPLIQUÉ !

40 millions d'euros, c'est l'effort financier consenti par l'État pour généraliser l'accès à la télémédecine dans les Ehpad¹. Qui dit télémédecine dit télécoms. Alors comment faire dans les zones rurales dépourvues d'une connexion suffisante ? C'est très simple, il suffit de s'abonner auprès d'un opérateur de satcoms pour bénéficier du haut débit partout en France. Et si le choix s'avère compliqué, CESARS (cf. ci-contre) est là pour vous guider ! À noter que le désengorgement des services d'urgence n'est pas le seul avantage de la télémédecine dans les structures accueillant des personnes âgées. Elle évite aussi leurs déplacements et, par conséquent, la mobilisation d'un personnel d'accompagnement. Enfin, elle offre un suivi plus régulier, profitable à la santé des résidents. Le modèle de l'Ehpad de Bizanet, dans l'Aude, est reproductible partout en France. L'installation ne prend que quelques jours, et fournit l'accès au haut débit pour quelques dizaines d'euros par mois.

D'ailleurs, la télémédecine pourrait se généraliser à d'autres publics et résidents de milieu traditionnellement « fermés ». La maison d'arrêt de Lannemezan, dans les Hautes-Pyrénées, par exemple, a installé une liaison satellite ; la consultation des patients détenus a lieu sur place et évite les déplacements soumis à conditions drastiques vers un centre hospitalier.

1. Établissement hébergeant des personnes âgées dépendantes.





EN VUE

UN POSTE DE COMMANDEMENT SUR MESURE



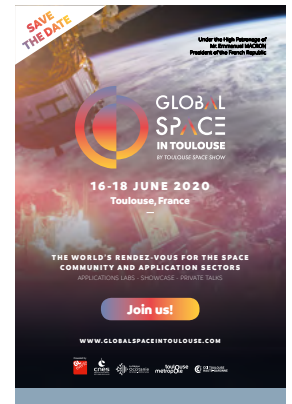
Quand l'incendie dévore tout sur son passage, quand les rues inondées ne sont plus qu'un fleuve de boue, agir devient urgent. Mais il faut aussi pouvoir collecter, analyser et diffuser des informations. C'est le rôle de l'équipe du commandant des opérations de secours. À bord de son Véhicule poste de commandement (VPC), elle apporte un support opérationnel et technique, notamment en termes de communications. Pour cela, elle doit bénéficier d'une connexion Internet avec un débit suffisant pour échanger par visioconférence avec les autorités (préfecture, ministère de l'Intérieur, etc.). Le Service départemental d'incendie et de secours (SDIS) de Maine-et-Loire, qui assure environ 40 000 interventions par an sur un territoire étendu, rural et où les inondations sont récurrentes, a investi dans deux véhicules qui permettent plus de réactivité et de performance. L'équipement a été pensé pour s'intégrer dans la chaîne du renseignement, quelle que soit la situation : secteurs urbains bien innervés, zones blanches, secteurs isolés... Via l'antenne satellite, les pompiers bénéficient en effet de l'accès à tous les services de télécommunications : téléphonie, Internet, vidéo, visioconférence... Doté par ailleurs de tout le matériel informatique nécessaire, ce véritable PC mobile est équipé en liaison satellitaire et dispose aussi d'une connexion 3G/4G et d'une bulle Wifi. Le SDIS de Maine-et-Loire a pu faire un choix éclairé des équipements les plus adaptés à ses besoins après une rencontre avec l'équipe de CESARS (cf. p. 34). « *L'expertise du CNES a été essentielle dans le pilotage de l'étude, raconte le capitaine Quélin. Les fourgons récemment livrés ont totalement répondu à la demande.* »



AGENDA

NOVEMBRE 2019

Conférence mondiale des radiocommunications
Charm el-Cheik (Egypte)



RENDEZ-VOUS NetSat Day

Organisé par le Pôle accès-réseaux du CNES, NetSat Day est la vitrine de la recherche en segments sol de télécoms par satellite. Ressources radio, protocoles de transport, optimisation des communications sécurisées, intégration des télécoms par satellite dans les réseaux mondiaux... Ce rendez-vous, qui favorise les collaborations profitables, a prouvé sa pertinence lors de l'édition 2018. En 2020, il devrait faire partie des événements associés au Toulouse Space Show.



TRANSFERT

MINICIRCUIT, MAXISUCCÈS

Oxford, c'est le nom de la puce estampillée « CNES » qui occupera bientôt vos terminaux et autres décodeurs. Pour quoi faire ? Pour vous faire profiter au maximum des bienfaits du très haut débit ! Explications.

Demain, le très haut débit (THD) sera accessible partout sur Terre grâce aux satellites. Mais pour que vous en tiriez profit au maximum, encore faut-il que votre terminal ou décodeur ait la capacité de le recevoir dans les meilleures conditions. À défaut de trouver sur le marché européen ou « sur étagère » – c'est-à-dire sans développement particulier –, le système magique qui optimisera la réception du THD, le CNES a spécifié puis fait développer Oxford, une puce multicanaux qui concentre des années de travaux de R&D. Concepteur d'Asics¹, l'industriel STMicroelectronics a été retenu pour la réalisation de ce minicircuit.

LE CNES S'INVITE DANS VOS DÉCODEURS

Financé dans le cadre du Programme d'investissements d'avenir, l'objectif d'Oxford était de disposer d'un circuit ultraperformant... pour un coût de quelques euros, compatible avec une intégration dans un terminal grand public. Fait original : la puce porte le logo « CNES » aux côtés de celui du fondeur, une première pour le centre spatial dans le domaine grand public ! Le succès a été immédiat ; Oxford sera déployé dans la plupart des terminaux et/ou décodeurs dédiés à l'Internet par satellite. Le marché mondial, lui aussi, lui a réservé un excellent accueil. Loin de se satisfaire de ce succès, le CNES planche déjà sur la deuxième génération d'Oxford, en ligne avec l'évolution du standard DVB mais toujours avec un objectif de bas coût pour un marché de masse. Objectif : anticiper, demain, l'arrivée de la 5G et le développement de l'Internet dans les avions et les bateaux...

1. Application Specific Integrated Circuit

FR



1

million

Les performances d'Oxford sont exceptionnelles : le flux de données qui transitera par la puce de 1 cm² représentera 600 Mbit/s, l'équivalent de la fibre optique.

L'objectif fixé d'un million d'exemplaires commercialisés pourrait être très rapidement atteint.