

MICRO ET NANOS-SATELLITES : DES TOYSATS AUX NOUVEAUX ENJEUX

Stéphane Andrieux et Michel Courtois

Membres de l'Académie des technologies

Séance du 27 avril 2022

Résumé

Alors qu'un basculement vers les nano et les petits satellites s'observe depuis quelques années, ce sujet devient pleinement d'actualité en France avec le plan France Relance 2030 qui consacre 1,5 Md € au spatial, dont deux tiers dédiés aux nouveaux acteurs. Rendus possibles par la miniaturisation des satellites, dans une démarche de réduction des coûts de fabrication et de lancement, les nanosatellites (CubeSats) ont d'abord été développés à des fins de formation et pour renforcer l'attractivité des métiers du spatial. Aujourd'hui, la donne change radicalement avec les progrès de miniaturisation des charges utiles, mais aussi de gestion de l'énergie à bord et de la propulsion électrique. Cette miniaturisation offre de nouvelles possibilités de réalisation de missions au sein de constellations de satellites, et permet même le développement de capacités nouvelles et innovantes de lancement. Outre les traditionnels enjeux étatiques de sécurité et de défense, se pose désormais celui de l'organisation d'un nouvel écosystème très complexe. Si le NewSpace n'en est qu'à ses prémices, il offre de réelles perspectives pour des projets scientifiques, ainsi que pour de très nombreuses applications - sous réserve de l'identification de marchés. En tout état de cause, les techniques concernées restent compliquées et la structuration d'une filière sera fonction des finalités visées et des sources de financements.

Intervenants

Jean-Noël Bricout

Chef de l'équipe « Autorité Centrale Projet » de la direction des systèmes orbitaux et applications (DOA) du Cnes

Martin Giard

Délégué scientifique aux affaires spatiales (INSU) du CNRS

Frédéric Teston

Chef du département ingénierie systèmes spatiaux à l'ESTEC

Sommaire

Activité de l'ESA dans ce domaine et premiers bilans sur ces initiatives à travers le monde	2
La vision du Cnes	3
Les enjeux scientifiques	5
Débats	6

Introduction par Stéphane Andrieux

Après la course au gigantisme, la proposition d'un standard (CubeSat) en 1990 a ouvert la voie au développement des nanosatellites. Pour la plupart des applications d'observation de la Terre, les attendus sont multiples : ne pas trop s'éloigner de la surface terrestre, rester à altitude constante, balayer toute la surface du globe, avoir une période de passage courte et une heure de passage quasi constante. Pour les orbites LEO (400-2 000 kilomètres), des systèmes d'orbites circulaires, quasi-polaires et héliosynchrones permettent de répondre à ce cahier des charges. Pour autant, ces nanosatellites restent des satellites, donc des objets techniques compliqués.

Spatialisation des instruments et des composants, essais au sol, production des plateformes, répartition des segments sols pour la récupération des données, traitement des données, lancement... : avec l'apparition de nouveaux acteurs, ces activités évoluent rapidement pour revenir, souvent, aux fondamentaux de l'activité spatiale. De nouvelles problématiques apparaissent également, comme la distribution des fonctions, les communications et la désorbitation visant à limiter la prolifération des débris en orbite

La prolifération des grandes constellations de satellites, essentiellement en télécommunications, pose le problème de l'encombrement et des débris (orbites, fréquences de communication, fin de vie) ainsi que de sérieux problèmes de pollution lumineuse des télescopes terrestres.



Activité de l'ESA dans ce domaine et premiers bilans sur ces initiatives à travers le monde

Frédéric Teston et Michel Courtois

Frédéric Teston est chef du département ingénierie systèmes spatiaux à l'Estec. Il a été auparavant ingénieur contrôle d'attitude chez Airbus DS. Il est en charge des affaires IOD/IOV à l'ESA. Il a été le responsable des projets PROBA 1, 2, Vegetation, principalement financés par la Belgique dans le cadre du GSTP de l'ESA, satellites de la classe 120/150 kg. Il termine le projet Proba 3 de coronographe spatial composé de

deux satellites contrôlés relativement l'un par rapport à l'autre, une première.

L'économie spatiale représente plus de 300 Md\$, en croissance continue. Les budgets institutionnels sont de l'ordre de 92 Md\$ (dont 4 Md€ en France et 7,15 Md€ pour l'ESA, incluant les contributions d'Eumetsat et de l'Union européenne, et 55 Md\$ pour les États-Unis). En 2020, 7,6 Md\$ ont été investis dans les startups du spatial.

Éléments de définition et classification

La classification retenue par l'ESA et le Cnes est la suivante : nanosatellite 1-10 kilos, microsatellite entre 10-100 kg, minisatellite 100-500 kg et CubeSat de 1 à 12 unités (1 unité = 1,33 kg, 10x10x11,35 cm³). Les SmallSats sont de petits satellites traditionnels, tandis que les CubeSats sont conçus selon un standard mis en place dès le début des années 1990. Ils sont lancés à l'aide de dispositifs simples, assimilables à une boîte avec un couvercle et des ressorts pour les éjecter en orbite. Ils sont ainsi aisément assemblés sur les différents systèmes de lancement. Grâce à la miniaturisation, les premières missions commerciales à base de CubeSats ont débuté en 2013 (PLANET).

Traditionnellement, les petits satellites étaient construits pour durer aussi longtemps que possible avec des méthodes de qualité strictes (en théorie, du moins, car les défaillances ont été nombreuses au début). Certains restent ainsi opérationnels après 40 ans en orbite. Dans le NewSpace, pour aller plus vite, limiter les coûts et éviter les problèmes de débris, la durée de vie est moindre grâce à un choix d'orbite qui les contraint à redescendre sur Terre en 25 ans environ, souvent même 3 ou 4 ans seulement (cf. loi sur les opérations spatiales française). C'est du moins le cas des satellites en orbite basse lancés en Europe.

Une croissance du secteur non institutionnel liée aux petits satellites et aux CubeSats

Les budgets non institutionnels sont principalement consacrés à des missions reposant sur des constellations de petits satellites et de CubeSats (1 743 lancements en 2021, sur un total de 6 000) ou sur des méga constellations comme OneWeb, Starlink ou Kuyper (1 200 lancements en 2021). L'engouement pour le NewSpace, les petites missions et les petits satellites n'a cessé de croître à travers le monde. Il s'explique à la fois par une évolution technologique (miniaturisation électronique), un accès facilité à l'espace par le standard CubeSat et une approche renouvelée des missions.

L'institutionnel participe également au développement du NewSpace. Ainsi, l'ESA a commencé à soutenir le développement des technologies et l'accès à l'espace pour les vols des premiers prototypes de SmallSats au milieu des années 1990, et des CubeSats à compter de 2015. Au total, 53 CubeSats ont été lancés avec son support et 40 sont en préparation, avec des missions dans tous les domaines de l'Agence : technologies, télécommunications, observation de la Terre, éducation...

Des lanceurs multiples sur des lanceurs puissants et le développement de micro-lanceurs

En 2017, année record, a été lancée une grappe de 103 satellites par le lanceur Indien PSLV, dont 101 CubeSats divers et variés et 88 de la constellation Planet. L'Europe n'est pas en reste. Elle propose des services d'accès à l'espace pour les petits satellites, en particulier avec VEGA, Ariane 5, Soyuz et les futurs lanceurs VEGA C et Ariane 6. Des options très flexibles permettent d'optimiser le coût de lancement et le nombre d'opportunités.

Si les lancements multiples¹ permettent d'accéder à l'espace à faible coût, ils ne permettent pas de choisir les orbites de chaque satellite. La multiplication des constellations impose de placer les satellites sur des orbites et des plans divers et variés, ce qui nécessite plusieurs lancements dédiés. Une centaine de micro-lanceurs sont en étude ou en cours de développement dans le monde, dont quelques-uns en Europe.

Le NewSpace et les constellations

Les premières constellations de satellites ont vu le jour dans les années 1990, avant de connaître une crise de défiance car elles sont toutes passées par une faillite financière et une restructuration qui ont permis d'effacer la dette liée au financement initial. Trois grands types de constellations sont apparus au milieu des années 2010 : celles dédiées à l'observation de la Terre, à l'instar de Planet (450 satellites lancés, dont 150 actifs) ; celles dédiées au *signal intelligence* dans le domaine RF ; plus récemment, des constellations privées pour servir de support d'un domaine industriel (véhicule autonome, par exemple). Sur les plus de 250 constellations planifiées, 5 % sont lancées en orbite, 10 % sont en lancement et plus d'un tiers sont dormantes ou mortes.

L'intérêt des constellations est d'être multi-temporelles et multi-spatiales. En outre, une fois qu'elles sont en orbite, leur business plan peut évoluer en fonction des besoins à satisfaire. Ainsi, leur utilisation est source d'amélioration.

Enfin, au-delà d'une visée commerciale, certaines missions institutionnelles ou scientifiques utilisent des CubeSats comme HERA (rencontre avec un astéroïde en coopération avec la NASA) et COMET-I (interception d'une comète dans le cadre des missions scientifiques de l'ESA).

L'ESA Academy prépare des ingénieurs au travers de cours et d'expériences, mais aussi en contribuant au lancement de petits satellites. Par ailleurs, pour éviter le syndrome de Kessler, selon lequel la hausse exponentielle des débris et des collisions - alimentée par la croissance continue des débris - empêchera l'accès aux orbites LEO, l'ESA participe activement à l'évolution de la réglementation en la matière. L'ESA met également en œuvre des actions dans le cadre du Space Traffic Management créé par la Commission européenne, notamment via son programme S2P.

Même si les missions institutionnelles demeurent, l'une des priorités de l'agenda 2020-2025 de l'ESA vise à développer les investissements privés dans le spatial en stimulant la commercialisation, avec un directeur dédié mais aussi l'implication des diverses directions de programmes.



La vision du Cnes **Jean-Noël Bricout**

Jean-Noël Bricout est diplômé de l'ICAM en 1983 et thèse de doctorat sur les structures poly-articulées flexibles en 1987. Il rejoint le Cnes en 1988 au service Structures et Mécanique. À partir de mi-1998, il est successivement Chef du Service Structures et Mécanique, du service Architecture Mécanique et Thermique (AMT) puis du service Filières Satellites après avoir été chargé de mission auprès du Sous-Directeur Techniques Véhicules. À partir de 2016, il co-organise le Symposium 4S (Small Satellites Systems and Services) avec l'ESA. En 2017, il devient sous-directeur adjoint pour les

¹ Les petits satellites et les lancements multiples sont une invention française, avec la création en 1990 du plateau ASAP 4 sur Ariane 4, qui a été utilisé à plusieurs reprises par le CNES et par SSTL.

projets d'Observation de la Terre et fin 2018, il rejoint l'Autorité Technique Centrale de la Direction des Systèmes Orbitaux (DSO). Depuis fin 2021, il est en charge de l'Autorité Centrale Projets à la Direction des Systèmes Orbitaux et des Applications (DOA).

Comme indiqué précédemment, la démocratisation des petits satellites est liée à la standardisation des cartes électroniques, mais aussi et surtout des dépoyeurs. Malgré un retard initial par rapport aux États-Unis et au reste de l'Europe, un nouvel écosystème associé à l'utilisation de l'espace se développe depuis quelques années en France, avec des fournisseurs de services, des fournisseurs de satellites et de plateformes et des fournisseurs d'équipements et de charges utiles.

Le « phénomène NewSpace »

Le CubeSat permet un accès différent à l'espace, grâce à des développements rapides à coût réduit. Ce faisant, les risques d'échec peuvent être acceptés plus facilement que dans les missions classiques. Utilisable en formation, cet outil rend l'espace accessible aux étudiants et favorise le développement du Project Base Learning (PBL). Plus globalement, son accès mérite d'être facilité pour tous ceux qui veulent participer à l'aventure spatiale. De fait, il permet de la démonstration en orbite, un retour rapide d'informations, l'accès des startups à l'espace et une coopération internationale, y compris avec des pays émergents dans le domaine de l'espace (Afrique du nord). Il ouvre aussi la voie à de nouveaux concepts d'architecture (constellations, vaisseaux-mères).

Une mission de NanoSat ou de CubeSat est comparable à une mission classique, avec de l'avionique, un lien bord-sol, des centres d'opération et de mission et un système de lancement. Toutefois, la forte compacité peut compliquer certains aspects de compatibilité électromagnétiques, avec des moments magnétiques résiduels par exemple.

La NanoLab Academy et le programme Janus

Les premiers développements du Cnes ont concerné le domaine académique, à travers le programme Janus de soutien technique (pour toutes les phases du projet) et financier (à partir de la phase C). Devenu la NanoLab Academy, Janus propose aux centres spatiaux universitaires des éléments de plateforme basés sur les composants d'Eyesat (cf. ci-dessous). En permettant de faire voler des technologies miniaturisées développées dans les programmes de recherche, il a également orienté quelques actions du programme de recherche technologique vers la miniaturisation.

Eyesat est un satellite développé en interne par le Cnes avec des étudiants, pour démontrer des technologies fournies par le programme R&D du Cnes et viser des objectifs scientifiques d'étude de la lumière zodiacale et de mise en images de la voie lactée. Il a été lancé sur un vol Soyouz en 2019 et est opéré par U-Space depuis le centre de contrôle développé avec l'ISAE, en utilisant le réseau multi-stations du Cnes. Un projet Aerosat est en développement avec des étudiants, pour prendre sa suite.

L'accompagnement de développements industriels

Le Cnes travaille avec Hemeria et Kineis pour faire un démonstrateur d'une charge utile Argos miniaturisée, avec un objectif de gain d'un facteur 10 sur la charge utile et 3 sur la puissance consommée. Un satellite au format 12U (ANGELS) a été lancé en 2019, sur le même vol qu'Eyesat. Un satellite NeSS est également en développement, pour faire du monitoring de spectre de radiofréquences en bandes L et S. Son lancement est prévu en fin d'année 2022. D'autres accompagnements sont en cours, comme la mise en place de la constellation Kineis (suite du programme Argos de collecte de données), la préparation de la suite de SMOS (détermination et suivi de la salinité des eaux et de l'humidité des sol) avec ULID, ou encore des études de phase A (notamment SMASH/DAMONA, pour préparer le futur de l'hydrologie).

Le Cnes participe également à la mission HERA (dynamique du vol et programmation de la charge utile des nanosatellites qui seront utilisés). Il travaille avec l'Agence spatiale israélienne dans le cadre du projet C3IEL (étude de l'évolution du climat et de la météo par l'observation des nuages). De nombreux développements figurent au programme R&D 2022. Plusieurs développements sont déjà sortis, comme le dépoyeur Mecano-ID, des émetteurs RF par Syrlinks ou une carte processeur Ninano chez Steel Electronique. Des travaux de R&D sont également en cours concernant des bancs automatisés, l'authentification, l'intégration de la partie logicielle de Senseurs stellaires dans le calculateur de bord, la qualification des roues de réaction COMAT et un générateur solaire chez Hemeria.

Une réflexion est également en cours pour ouvrir le Centre spatial de Toulouse, en lien avec le contrat d'objectifs et de performance, pour mettre certains moyens du Cnes à disposition de l'écosystème. Enfin, dans le cadre du Plan de relance et de France 2030, le Cnes aide au développement des acteurs du NewSpace (développement d'équipements, standardisation de plateformes, services).



Les enjeux scientifiques

Martin Giard

Martin Giard est docteur en astrophysique et techniques spatiales de l'Université Paul Sabatier à Toulouse. Il est directeur de recherche CNRS à l'Institut de recherche en astrophysique et planétologie de Toulouse (IRAP). Il est un passionné de la voûte céleste et ses travaux portent sur les rayonnements, gaz, poussières et molécules interstellaires. Il est aussi spécialiste de la physique de la Galaxie, la formation d'étoiles et la mesure des fonds de rayonnement diffus, et a été l'un des co-investigateurs de la mission spatiale Planck. Il a été directeur de l'IRAP de 2011 à 2015 lors du premier contrat quinquennal de ce grand laboratoire d'astrophysique et de planétologie sol-espace. Il a publié plus de 200 articles référencés. Il a été corécepteur du prix Gruber 2018 attribué pour les résultats de la mission Planck. Il a été délégué scientifique aux Affaires spatiales au CNRS/INSU de 2011 à 2021. Depuis le 1^{er} janvier 2022, il est directeur adjoint scientifique Astronomie-Astrophysique du CNRS/INSU.

Les NanoSats offrent d'importants potentiels pour développer et construire des systèmes d'observation ou d'exploration scientifique. Ainsi, outre ses effets économiques, la croissance du spatial, évaluée à 1 000 Mds \$ annuels en 2040, devrait bénéficier à la recherche scientifique grâce aux perspectives offertes par la miniaturisation, les capacités de calcul et l'autonomie.

Prospective scientifique

Il existe déjà, sur Terre, de grands télescopes submillimétriques (notamment le télescope sur le Pico Veneta en Espagne, copropriété de l'Allemagne, la France et l'Espagne) dont la résolution angulaire procure une grande finesse d'image. L'interféromètre mondial Event Horizon Telescope a ainsi permis d'effectuer la première image d'un trou noir, au centre de la galaxie M87, avec une finesse d'observation de 42 microsecondes d'arc. L'ambition est désormais de construire un instrument scientifique à base de NanoSats, soit un grand ensemble dépassant les éléments individuels déployés - par exemple une constellation de nano-satellites en orbite lunaire, pour former un très grand radiotélescope.

La prospective spatiale nationale de 2019 a permis de lister plusieurs arguments en faveur des NanoSats au regard des grands satellites monolithiques : possibilité de construire des télescopes de très grand diamètre et de taille variable ; observer tous les « compartiments » du système Terre (océans, atmosphère, continents, littoraux) avec une très bonne définition spatio-temporelle ; possibilité d'apporter des capacités supplémentaires d'observation ou de communication à un vaisseau interplanétaire lorsqu'il est arrivé sur sa cible ; possibilité de relâcher la fiabilité au niveau composant pour lui substituer une fiabilité par redondance des sous-systèmes ; possibilité de remplacer la qualité de mesure au niveau du capteur par de la « qualité système » obtenue par du traitement de données multi-capteurs. Ce domaine progressant très rapidement, de nouveaux arguments pourraient à coup sûr être identifiés.

Les missions scientifiques prioritaires lors de la prospective spatiale de 2019 concernaient en grande majorité l'observation de la Terre nécessitant des nanosatellites : comprendre le développement des nuages convectifs pour modéliser leur réaction au réchauffement climatique (C3IEL), mesurer l'humidité des sols et la salinité des eaux avec suffisamment de résolution (ULID), mesurer le déplacement des masses à la surface et en sous-sol (MARVEL) ou encore sonder le cœur de la Terre par la mesure de haute précision de ses champs magnétiques externes (NanoMag Sat). Des projets plus ambitieux d'exploration du système solaire étaient également envisagés sous la forme de missions hybrides avec un vaisseau-mère et une flottille de nanosatellites.

Trois ans après la prospective de 2019, la communauté scientifique s'inquiète des difficultés à engager de nouvelles missions, notamment d'observation de la Terre. Les meilleurs espoirs portent sur NanoMagSat (soutenu par l'ESA), SMASH (avec une perspective de financement par France 2030) et MARVEL (qui pourrait se transformer en missions ESA, NASA ou conjointes). En revanche, ULID et C3IEL ont été stoppés.

Les enjeux de la miniaturisation

L'utilisation des nanosatellites pour des missions scientifiques est possible pour les thèmes identifiés en 2019, à travers des démonstrateurs ou des missions complètes. Une mission hybride (Comet Interceptor) a d'ailleurs déjà été décidée en partenariat ESA/JAXA. En tout état de cause, la petitesse est une difficulté technologique, sur le plan des capacités de calcul et de la consommation électrique. La pleine exploitation du potentiel des systèmes spatiaux d'observation capables de se substituer aux grandes missions scientifiques comme JWST, ATHENA ou LISA nécessitera donc certainement plusieurs décennies. Si les centres spatiaux universitaires sont engagés dans cette voie, ils

ne répondent pas complètement au besoin de rendre les missions nanosatellites scientifiques réalisables. Aussi le CNRS et ses établissements viennent-ils de créer la fédération de recherche « Nanosatellites en Sciences de la Terre et de l'Univers ».

Par ailleurs, les académies, les agences et les communautés scientifiques n'ont toujours pas changé de paradigme. En témoigne le dernier le dernier *Decadal survey astronomy* de la NSF, qui prévoit des missions spatiales monolithiques sur 15 ans. La science entre donc à peine dans le NewSpace.



Débit télécom

Quel est l'ordre de grandeur du débit d'échange de données avec un petit satellite ?

Frédéric Teston : Après avoir commencé en UHF/VHF, les CubeSats sont passés en bande S (2 GHz) et ont des transpondeurs miniatures en Bande X (8 GHz) jusqu'à quelques dizaines de Mb/s. Il existe aussi plusieurs projets de CubeSats avec des liens optiques, pour atteindre les Gb/s.

Mise en orbite

Les CubeSats sont-ils dépourvus de moyens de manœuvre une fois déployés ?

Michel Courtois : Les 1U n'en ont pas et les 3U en ont rarement. Ces capacités apparaissent quand on monte en masse, mais elles sont coûteuses.

Dans quelle mesure la guerre en Ukraine prive-t-elle la filière nanosatellite de capacités de lancement ?

Michel Courtois : Le conflit a pour conséquence majeure en Europe l'arrêt des lancements Soyuz à Kourou. Il met également en risque l'évolution du lanceur VEGA C, le moteur de l'étage supérieur étant fourni par l'Ukraine.

Pollution et débris

Comment apurer l'espace, alors que nombre de satellites sont en train de « mourir » ?

Frédéric Teston : Le lancement de CubeSats sans propulsion n'est pas autorisé à plus de 520 kilomètres, ce qui signifie qu'ils retomberont rapidement et n'encombreront pas l'espace. Les satellites doivent aussi être désorbités en fin de vie ou ramenés à une altitude leur permettant de rentrer en moins de 25 ans. Par ailleurs, des systèmes à rajouter sur les satellites sont à l'étude, pour permettre à un nettoyeur spatial de les attraper en cas de panne. En revanche, aucune solution viable n'a été trouvée pour les petits débris.

La modélisation des trajectoires est-elle illimitée ? Peut-on observer ces trajectoires par des radars ou des moyens optiques, pour créer une sorte de police de l'espace ?

Frédéric Teston : Les calculs classiques d'orbites fonctionnent encore malgré le nombre de satellites, mais les estimations deviennent de plus en plus difficiles. Des travaux sont en cours pour améliorer la prédiction de collisions et de débris, grâce à l'intelligence artificielle notamment. Par ailleurs, certaines sociétés commerciales commencent à placer des radars et des télescopes au sol ou en orbite pour la détection et la trajectographie des débris. Enfin, le programme S2P de la Commission européenne et de l'ESA vise à améliorer les moyens de poursuite et de détection pour l'orbitographie. En somme, tout est mis en œuvre pour que les outils suivent la croissance du NewSpace.

Comment se fait le positionnement relatif de tous les objets lancés ?

Michel Courtois : Après la mise à poste de la charge utile principale, on modifie légèrement l'orbite et on largue les autres objets avec des intervalles de temps et des logiques qui minimisent les risques de collisions.

L'argument d'une fiabilité qui peut être mise ailleurs que dans le composant n'est-il pas contradictoire avec la volonté de limiter la pollution du ciel ?

Martin Giard : Il s'agit de montrer qu'il est possible de procéder différemment, dans une approche système. En tout état de cause, la fiabilité sera toujours de mise dans une mission scientifique.

Recherche spatiale scientifique

Est-il aisé d'attirer des jeunes dans l'écosystème du Cnes ?

Jean-Noël Bricout : Les étudiants qui postulent aux stages sont en nombre suffisant et viennent de différents horizons (universités, écoles d'ingénieurs, IUT). Le plus compliqué est d'offrir des carrières aux ingénieurs, pour maintenir cet encadrement des compétences sur lequel tout repose.

N'est-on pas en train de passer de l'ère de la coopération à celle de la compétition entre États, pour les missions scientifiques ?

Martin Giard : Les partenariats internationaux restent imposés par le manque de ressources et les spécifications ambitieuses requises.

Comment s'organisent la fourniture de services et l'exploitation des données, notamment dans les missions d'observation de la Terre ?

Martin Giard : Les communautés scientifiques mettent en avant la nécessaire coordination. La question de centres de données est stratégique. Le traitement de données scientifiques ne saurait s'inscrire dans un schéma compétitif. Le CNRS prône une science ouverte.

Michel Courtois : Le débat porte principalement sur la haute résolution et la captation de la valeur ajoutée, ainsi que la facilité et le coût d'accès.

Applications économiques

Des business ont-ils été économiquement prouvés (vente des images de l'observation de la Terre, télécommunications, internet...) ?

Michel Courtois : À l'exception de Starlink, aucune constellation n'a évité la faillite. En dehors de la défense, qui n'est pas un business réellement commercial, il ne semble pas qu'il existe de modèle opérationnel rentable stable et récurrent en observation de la Terre, a fortiori quand il faut payer l'infrastructure.

Quels projets devraient bénéficier des financements de France 2030 ?

Martin Giard : Ceux qui ont émergé de la prospective spatiale de 2019.

Applications militaires

L'armée s'appuie-t-elle sur les résultats obtenus par le CNRS et l'ESA ? Les lancements de satellites à application militaire et à application scientifique sont-ils coordonnés ?

Michel Courtois : Peu de lancements de défense se font avec des satellites autres que la mission principale de défense. Le cas échéant, les microsatsellites qui les accompagnent sont plutôt des démonstrateurs également destinés à des applications de défense. Par ailleurs, il n'y a pas de coordination autre sur les calendriers de lancement ou des satellites à vocation duale. Enfin, il existe de nombreux éléments techniques communs, mais peu de partage de données.

Martin Giard : Un satellite scientifique a été financé sur l'enveloppe militaire, Taranis. Mais son lancement a été un échec. Pour leur part, les scientifiques seraient très intéressés par le co-développement de systèmes radio et d'écoute spectrale, mais ce secteur est très confidentiel.

De nouveaux pays n'auront-ils pas accès au spatial et aux données des Nano-Sats ?

Michel Courtois : L'accès à l'espace est devenu presque banalisé. Même lorsque la résolution des images est mauvaise, l'IA permet de trouver ce que l'on cherche - si l'on sait ce que l'on cherche.

Mots clés : applications multiples, autonomie, constellation, écosystème complexe, IA, miniaturisation, modèle économique, NewSpace, optimisation des délais et des coûts, sobriété, traitement des données

Citation : Stéphane Andrieux, Michel Courtois, Jean-Noël Bricout, Martin Giard & Frédéric Teston. (2022). *Micro et nanos-satellites : des toysats aux nouveaux enjeux*. Les séances thématiques de l'Académie des technologies. @

Retrouvez les autres parutions des séances thématiques de l'Académie des technologies sur notre site

Académie des technologies. Le Ponant, 19 rue Leblanc, 75015 Paris. 01 53 85 44 44. academie-technologies.fr

Production du comité des travaux. Directeur de la publication : Denis Ranque. Rédacteur en chef de la série : Hélène Louvel. Auteur : Voyelles Rédaction. N°ISSN : 2826-6196.

Les propos retranscrits ici ne constituent pas une position de l'Académie des technologies et ils ne relèvent pas, à sa connaissance, de liens d'intérêts. Chaque intervenant a validé la transcription de sa contribution, les autres participants (questions posées) ne sont pas cités nominativement pour favoriser la liberté des échanges.