



LES NANOSATELLITES

VONT-ILS FAIRE LA LOI DANS L'ESPACE ?

SOMMAIRE

SOMMAIRE	2
INTRODUCTION	3
TRAFFIC PERTURBÉ EN ORBITE BASSE	4
▪ LES NANOSATELLITES REDÉFINISSENT LES USAGES DU SPATIAL	4
▪ «ANGELS PRÉFIGURE CE QUE SERA LA CONSTELLATION DE NANOSATELLITES KINÉOS»	6
▪ «UNE SOCIÉTÉ PEUT COMMENCER AVEC DEUX SATELLITES POUR TESTER UN MODÈLE»	8
▪ HEMERIA, FER DE LANCE DE LA FILIÈRE NANOSATELLITES FRANÇAISE	10
POUR ALLER PLUS LOIN	12
▪ STARLINK : UN ACCÈS INTERNET PAR SATELLITE ACCESSIBLE PARTOUT DÈS 2020 ?	12
▪ UNE ARMADA DE SATELLITES POUR UNE COUVERTURE MONDIALE D'INTERNET	14
▪ UN NANOSATELLITE FRANÇAIS POUR PERCER LES MYSTÈRES DE BETA PICTORIS	15
▪ PETITS SATELLITES : PREMIÈRES EXIGENCES INTERNATIONALES	17

INTRODUCTION

Le déploiement en masse récent de nanosatellites, souvent sur des orbites basses, s'explique de deux façons.

D'abord, la miniaturisation des éléments composant un satellite a permis de développer des satellites plus petits, beaucoup moins chers à produire et à lancer. Cela a ouvert la porte au développement d'applications et de services commerciaux qui sont à l'heure actuelle encore en développement.

Le second élément à prendre en compte est la capacité des nanosatellites, et plus particulièrement des constellations de nanosatellites, à proposer des services nouveaux. Cela va aussi bien concerner la notion de temps réel que l'IoT par exemple.

Il s'agit donc d'un nouveau marché qui s'ouvre au-dessus de nos têtes. Un nouveau marché occupé par de nouveaux acteurs. Car les éléments constitutifs d'un nanosatellite sont très différents de ceux développés pour les plus gros satellites.

C'est tout un écosystème de startups qui s'est mis en place, dont Anywaves et Hemeria, qui sont évoqués dans ce dossier.

Anywaves est une start-up qui s'est spécialisée dans la fabrication d'antennes pour les constellations de nanosatellites.

Hemeria est également une start-up, toulousaine, qui collabore avec le CNES sur le projet Kinéis, une constellation de satellites dont le premier prototype, Angels, a été lancé le 18 décembre dernier.

Les premiers nanosatellites ont été développés par des universités. Il s'agissait dans un premier temps de projets étudiants. Mais ces projets se sont révélés être des succès. Au final, au fur et à mesure des projets développés, on s'est rendu compte du potentiel réel de ces satellites de petite taille.

Leur faible coût de fabrication (comparé aux satellites de plus grande taille) et leur légèreté, qui induit un coût de lancement abordable, ont permis des progrès spectaculaires.

Aujourd'hui, il s'agit de passer à une approche professionnelle de la production. C'est-à-dire ajouter plus de qualité et de performance aux nanosatellites, et donc aux services qu'ils proposeront.

TRAFIC PERTURBÉ EN ORBITE BASSE

LES NANOSATELLITES REDEFINISSENT LES USAGES DU SPATIAL

La multiplication des projets de constellations de nanosatellites ouvre la voie au développement d'une multitude d'applications commerciales. Un marché s'ouvre, aujourd'hui réservé à des acteurs experts de la miniaturisation.

Il y a quelques jours, SpaceX effectuait avec succès son premier lancement de l'année. Il s'agissait de mettre en orbite 60 nanosatellites destinés à s'ajouter aux 120 déjà déployés. Ce sont donc désormais 180 nanosatellites qui orbitent pour [tisser le réseau Starlink](#), qui doit permettre un accès à internet dans chaque recoin du monde. A termes ce sont des milliers de satellites - au moins 12 000 - qui permettront à l'entreprise d'Elon Musk d'atteindre ce but. D'ici là, Starlink devra trouver des clients susceptibles d'être intéressés par les offres de services déjà disponibles. On en saura plus dans le courant de l'année 2020, après le 24^{ème} lancement, à partir duquel Starlink devrait offrir une couverture mondiale d'internet.

Cet exemple illustre ce qui fait réellement la spécificité des nanosatellites : leur taille. Et leur coût, par ruissellement, si on peut dire. Il n'est pas question de concurrence avec les satellites de plus grande taille, car ces derniers offrent des informations - images, données - avec une précision incroyable. Et qui dit précision incroyable dit équipements volumineux. Pour ces usages là - par exemple l'imagerie de précision par satellite - la taille des équipements exclut de fait les nanosatellites.

Par contre, pour couvrir un réseau et proposer des passages de satellites les plus fréquents possible, une constellation de petits satellites sera plus performante qu'un gros satellite. Et moins chère. Et plus facile à [améliorer au fur et à mesure des retours d'expériences](#) réalisés lors des

lancers précédents. Bref, les projets de constellations de nanosatellites ont cet avantage : ils peuvent être très évolutifs dans le temps, et la facilité croissante pour lancer des grappes de satellites leur permet aussi d'être réactifs dans les réajustements. Pour ainsi dire, ces projets ont une capacité forte à adresser toujours plus précisément une demande client dans le temps.

Localisation, suivi, temps réel... des applications nombreuses et variées

L'autre aspect remarquable des nanosatellites est leur démocratisation dans le secteur du spatial. Aujourd'hui, la plupart des nanosatellites sont constitués d'éléments produits par des fabricants très spécialisés : [moteur](#), antenne, objectifs, charge utile... c'est une particularité du secteur. Quand le phénomène de miniaturisation a impacté les satellites, on a mis en place le standard cubsat, dont l'unité est un cube de 10 cm d'arête. Un nanosatellite peut être constitué d'un ou de plusieurs cubesats. Cette standardisation a spécifié le rayon d'action des nanosatellites, en termes de matériels embarqués en tout cas. Cela a également permis aux fabricants de s'orienter vers la [production de matériels adaptés](#) et de s'ouvrir les portes de nouveaux marchés potentiels à l'étranger.

Comme on le voit, un écosystème s'est mis en place autour de la production à bas coûts de nanosatellites. La notion de constellation est toujours un facteur démultiplicatif, puisqu'il permet d'envisager un rayon d'action et une performance à grande échelle.

Mais la baisse des coûts de production et de lancement de nanosatellites aux performances limitées mais dédiées, ouvre un champ d'application sans précédent. C'est là le

second avantage des nanosatellites. Le business model développé autour de leur usage autorise aussi bien le développement d'applications à grande échelle - via les constellations - que d'applications (ou des tests scientifiques) hyper spécifiques.

La France n'est pas en reste et va dans les prochaines années remplacer son [système Argos](#) actuel par une constellation de satellites, [Kinéis](#). Pour l'instant, un premier nanosatellite a été lancé ; le retour d'expérience réalisé sur Angels orientera la suite du programme, dont la finalité est de placer 20 satellites en orbite. Là où Argos est un système de localisation, Kinéis se voit aussi comme un outil destiné au marché de l'IoT, qui devrait être très demandeur dans les prochaines années.

Ainsi, c'est la combinaison entre des coûts de production qui baissent, et une quantité d'usages potentiels farouche, qui ouvre des [marchés à de nouveaux acteurs hyper spécialisés](#).

Par P.T

16/01/2020

«ANGELS PRÉFIGURE CE QUE SERA LA CONSTELLATION DE NANOSATELLITES KINÉOS»

Caroline Laurent est directrice des systèmes orbitaux au Centre national d'études spatiales (CNES). Elle explique pour Techniques de l'Ingénieur les finalités du projet Kinéis, une constellation de satellites dont le premier prototype, Angels, a été lancé en décembre dernier.

Le 18 décembre dernier était lancé le satellite [Angels](#), un prototype destiné à démontrer la pertinence des nanosatellites. Un prototype qui est également le premier élément de la future constellation [Kinéis](#), amenée à opérer le système Argos, un système mondial de localisation et de collecte de données géo-positionnées par satellite.

Pour Caroline Laurent du CNES, la mission qui démarre avec le déploiement d'Angels va démontrer que les capacités des nanosatellites, dont les prix baissent, sont une [solution pour développer des applications commerciales](#) abordables et variées.

E.T.I : Le 18 décembre dernier était mis en orbite Angels. Expliquez-nous en quoi consiste Angels ?

Caroline Laurent : Angels est un prototype, qui préfigure ce que sera la constellation Kinéis. Deux enjeux ont conduit au développement des [prototypes Angels](#).

D'abord, Angels embarque le système Argos. Actuellement, les équipements Argos sont embarqués sur différents satellites. Ces charges utiles sont opérées par le CNES et ensuite CLS, une filiale du CNES, prend en charge les usagers, la vente des balises et l'exploitation du système.

Nous avons voulu miniaturiser ces balises de plus en plus, et nous avons développé la charge utile Argos Neo, embarquée sur Angels. Le lancement d'Angels, le 18 décembre dernier, permettait donc d'avoir un instrument supplémentaire en orbite.

C'est important car dans les constellations de nanosatellites, plus on a de charges utiles, plus le système est performant. Il y a avait donc un besoin d'avoir un satellite supplémentaire.

Dans le même temps, le CNES et CLS ont imaginé une constellation - Kinéis - de nanosatellites. C'est le second enjeu. La baisse des coûts liée à la miniaturisation a permis de développer des programmes ambitieux - et qui ne sont pas excessivement chers - dont celui de se passer des plateformes étrangères pour faire fonctionner Kinéis.

Pour résumer, Angels fait à la fois la démonstration que la charge utile peut être miniaturisée et devient aussi le prototype pour la constellation Kinéis, dont le développement démarre.

Quel est l'objectif de Kinéis ?

L'objectif de Kinéis est de mettre en orbite 20 satellites. Cela permettra plus de passages et même si cela ne permet pas un suivi temps réel, on pourra avoir une transmission de données tous les quarts d'heure ce qui est déjà très bien. Nous sommes aujourd'hui en capacité d'exploiter le système Argos à partir de nanosatellites.

Kinéis servira également dans le domaine de l'IoT.

La localisation existait déjà avec le [système Argos](#). Mais profiter des messages de localisation pour ajouter des informations plus importantes, cela finit par s'appeler de

l'IoT. C'est le but, pouvoir échanger des informations de localisation en temps réel et ajouter d'autres informations sur n'importe quel objet : montre, **moteur**, machine industrielle...

Quels sont les avantages des constellations de satellites, en termes de développement de programmes ?

Ce qui fait la grande différence, c'est que l'usage d'une constellation permet d'accepter pour chaque satellite une probabilité de fonctionnement moindre que dans le cas d'un unique gros satellite. Vu que les coûts de fabrication sont également moins importants, on peut se permettre d'avoir un satellite de la constellation qui tombe en panne sans mettre en péril l'ensemble du système. On peut même envisager d'avoir une constellation qui fonctionne bien avec seulement 70% des satellites, par exemple. Donc cela change beaucoup de choses. Mais il faut bien garder à l'esprit que ces constellations vont également permettre de développer des usages différents. La miniaturisation limite les performances, et les gros satellites auront toujours leur utilité.

Qu'est-ce que Nanolabs ? 2

Les très petits satellites permettent de développer de toutes petites applications opérationnelles sur un tout petit spectre. Ils permettent également de multiplier les tests, les "proofs of concept"... C'est pour cela que le CNES va mettre en commun tous ses laboratoires qui font de la miniaturisation et qui contribuent au développement de nanosatellites et travailler avec les universités et les écoles d'ingénieurs. Pour dans un premier temps et dans le cadre du projet Janus, travailler au successeur d'EyeSat, qui est un nanosatellite d'observation développé par des étudiants en partenariat avec le CNES.

Dans un second temps il s'agit aussi de soutenir les industriels qui se sont développés sur ce secteur, et qui commencent à se fédérer via un groupement comme la Newspace Factory par exemple.

Comment le CNES vient-il soutenir la filière française des nanosatellites ?

Il y a beaucoup de **PME qui évoluent dans le domaine des nanosatellites** et il faut les soutenir. Au niveau du CNES, nous essayons de rendre cohérentes nos actions, puisque nous finançons de la R&D avec les projets que nous menons. Par exemple, nous faisons en sorte que les moteurs que nous développons en R&D soient bien réutilisés par les maîtres d'oeuvre pour les lancements... A ce jour, la pérennité de cette filière passe encore par un peu d'aide publique.

Propos recueillis par P.T

20/01/2020

«UNE SOCIÉTÉ PEUT COMMENCER AVEC DEUX SATELLITES POUR TESTER UN MODÈLE»

Nicolas Capet est le fondateur et CEO d'Anywaves, une start-up qui développe deux types d'antennes, à destination des constellations de nanosatellites. Il a répondu aux questions de la rédaction sur la spécificité des équipements développés pour les nanosatellites mais aussi sur le développement de la filière française dans ce secteur.

Anywaves fournit deux types d'antennes, avec pour chacune un usage bien spécifique.

L'antenne **Band-S** est destinée à piloter le satellite. Il s'agit donc d'être en lien permanent avec le satellite et de proposer une couverture tout autour de ce dernier, en continu.

La seconde antenne, la **Band-X**, sert uniquement à rapatrier les données de la mission, provenant de la charge utile.

Pour répondre aux défis de la miniaturisation Anywaves a choisi de développer - via l'**impression 3D** - des antennes à base de métamatériaux en céramique. Une spécialisation qui correspond au développement de **cette filière hyper spécifique**, comme nous l'explique Nicolas Capet.

E.T.I : Comment émerge la filière autour de la miniaturisation des satellites ?

Nicolas Capet : L'apparition des cubsats s'est faite au Japon et aux Etats-Unis dans un premier temps, dans les années 2000. Il s'agissait alors de projets étudiants. L'idée était de concevoir des petits satellites, afin de permettre aux étudiants de se former sur ce qu'est le spatial, ses contraintes... La visée était donc principalement pédagogique.

gique.

Plusieurs universités ont donc développé des petits satellites. Certains ont été assemblés et envoyés vers l'ISS quand cela était possible, d'autres sont restés au sol. Les universités continuant à proposer des projets de satellites toujours plus performants, force a été de constater : plutôt que d'utiliser un gros satellite ultra performant, on peut également choisir un ensemble de petits satellites, moins performants mais offrant des services complémentaires. Et ces services intéressent des acteurs économiques.

Quels acteurs ?

Par exemple, cela peut concerner les acteurs de l'observation de la Terre en temps réel. Là où un **gros satellite va avoir un taux de revisite** de 4 à 5 jours, les constellations vont permettre des survols beaucoup plus fréquents. Cela va intéresser tout ce qui touche aux interventions en urgence, le suivi de la végétation, des activités industrielles...

Partant de là, on a vu apparaître des spin-offs issues des universités, qui ont commencé à exister sur ce nouveau marché et à proposer des services commerciaux.

Comment a évolué le marché des nanosatellites ?

Aujourd'hui je dirais que nous sommes dans une seconde phase, où le marché s'est développé et est en attente de services performants, de qualité et de retour sur investissement. Or, si les projets des universités ont permis de développer des satellites à des coûts compétitifs, les problématiques de qualité n'étaient pas suffisamment prises en compte. C'est cette seconde phase dans laquelle nous sommes : la professionnalisation de la filière, et dans ce domaine, la France dispose d'**atouts redoutables**. Si l'émer-

gence d'une filière française s'est faite un peu tard, le pays dispose d'un savoir-faire dans le spatial qui va lui permettre de revenir rapidement dans la compétition.

On assiste aujourd'hui à une véritable montée en gamme en termes de **qualité et de performance des équipements**. Les acteurs commerciaux du secteur qui au début faisaient tout eux-mêmes commencent aujourd'hui à se concentrer sur leur métier d'intégrateurs. C'est ce que font des groupes comme Airbus ou Thales aujourd'hui, pour les satellites ou les avions, en achetant les équipements dont ils ont besoin chez des sociétés expertes.

Anywaves s'inscrit dans cette catégorie des équipementiers experts, en proposant spécifiquement des antennes pour les constellations de satellites.

Va-t-on assister à une compétition entre petits et grands satellites ?

Les constellations vont plutôt proposer un service de couverture globale en temps réel, là où un gros satellite sera beaucoup plus performant mais sur un temps donné. Donc on est plus sûr de la complémentarité que de la compétition. Le choix d'un gros satellite plutôt que d'une constellation va vraiment dépendre de l'usage.

Quels autres avantages voyez-vous au développement des projets de constellations de satellites ?

Un avantage réel de ce type de solution est que l'on n'est pas obligé d'avoir une constellation complète pour commencer à proposer des services commerciaux. Cela permet de développer des business models complètement différents.

Une société peut commencer avec deux satellites pour tester un modèle et vendre une solution commerciale. Au fur et à mesure de l'avancement de la constellation, les satellites mis en orbite profitent des retours d'expériences réalisés sur les premiers lancers, pour offrir un service continuellement amélioré.

Qu'est-ce que la Newspace Factory ?

Anywaves fait partie de ce que nous avons appelé la **News-**

pace Factory. Nous nous sommes regroupés avec plusieurs PME françaises du spatial, notamment pour développer des démarches beaucoup plus percutantes à l'export.

L'idée est de pouvoir proposer tout un catalogue de produits sur étagère auprès de tous les acteurs qui se mettent à développer des nanosatellites. Nous pensons notamment à des pays comme l'Inde, la Chine et beaucoup d'autres qui, devant les coûts relativement faibles, ont développé des projets de petits satellites.

Propos recueillis par P.T

21/01/2020

HEMERIA, FER DE LANCE DE LA FILIÈRE NANOSATELLITES FRANÇAISE

Nicolas Multan est le directeur général de Hemeria. Cette startup est la figure de proue de la filière nanosatellites française, autant pour son rôle d'intégrateur que via sa collaboration avec le CNES sur le programme Angels.

Le programme [Angels](#), qui a vu le lancement de son prototype le 18 décembre dernier, est le symbole d'une filière française qui cherche à passer un cap supérieur.

Et ce cap, c'est la capacité à proposer des débouchés commerciaux grâce aux nouvelles applications que permettent l'usage de nanosatellite(s).

Pour Techniques de l'Ingénieur, Nicolas Multan a accepté de revenir sur l'histoire - récente - de [Hemeria](#), ex [Nexeya](#), et sur l'aventure démarrée avec le CNES, qui a pour finalité la mise en orbite d'une [constellation de 25 satellites](#), [Kinéis](#), en 2022.

E.T.I : Expliquez-nous comment a émergé Hemeria, qui est aujourd'hui l'acteur français majeur de la filière nanosatellites ?

Nicolas Multan : Il y a deux histoires qui se rejoignent et qui aboutissent à ce qu'est Hemeria aujourd'hui.

Il y a d'abord la genèse de l'aventure nanosatellites chez Nexeya, puis la genèse d'Hemeria à proprement parler.

L'idée de produire des [nanosatellites](#) à des fins industrielles et commerciales est née en 2009. A l'époque, les projets de nanosatellites donnaient de bons résultats, mais uniquement sur des thématiques étudiantes et scientifiques. L'approche, assez novatrice, a été de se dire que ces petits satellites pourraient offrir des débouchés au monde de l'in-

dustrie et du privé.

Nous avons alors développé plusieurs [programmes de recherche et de développement](#), financés par les pouvoirs publics - BPI, régions, métropole - et qui nous ont permis de créer la base d'un consortium avec différentes sociétés, dont Nexeya était le pilier.

A partir de là, nous avons avancé doucement jusqu'à la mi-2016, où nous avons eu la chance de convaincre le CNES de lancer un programme de filière nanosatellites française. Le [CNES s'est approprié l'idée et a décidé de lancer le programme Angels](#).

Ce programme a été contractualisé avec Nexeya au mois de mars 2017, et a abouti au lancement de Angels le 18 décembre dernier. Ce lancement et le démarrage du projet [Kinéis](#) marquent la volonté du CNES de constituer une véritable filière française du nanosatellite et cela a été déterminant.

Pour finir, début octobre 2019, Nexeya a été vendue. A cette occasion, certaines activités - spatial, vol, dissuasion nucléaire - ont été exclues du deal et ont été transférées au sein d'une nouvelle société, Hemeria. Hemeria, en tant qu'intégrateur, est aujourd'hui le fer de lance de la filière française des nanosatellites.

Comment avez-vous travaillé avec le CNES sur le programme Angels ?

Pour nous, il s'agissait de trouver des débouchés à nos programmes de développement. Nos discussions avec le CNES nous ont permis de nous mettre d'accord sur le développement par Hemeria d'un démonstrateur.

A partir de là s'est mis en place un tout nouveau mode de

fonctionnement entre l'agence nationale et un industriel. En effet, le CNES a été à la fois spécificateur du besoin, mais a également œuvré en codéveloppement avec nous sur la réalisation d'Angels. Jusqu'à 8 experts du CNES ont intégré les équipes d'Hemeria et ont challengé les propres spécifications du CNES, dans le but de mener à bien ce projet, dans des délais deux fois plus courts que ce qui est préconisé pour ce type d'entreprise... Au final, nous avons développé un satellite entièrement en deux ans et demi, du jamais vu.

D'autre part, [les équipes du CNES qui ont spécifié le programme Angels et celles qui ont intégré nos équipes étaient indépendantes](#). C'est une approche tout à fait innovante.

Comment se comporte Angels depuis son lancement ?

Angels a été mis en orbite le 18 décembre dernier. Il fonctionne bien, s'oriente bien... nous avons allumé la charge utile il y a une semaine (le 8 janvier), et cette charge fonctionne. Il s'agissait pour nous d'une deuxième étape de validation très importante et qui nous permet de dire aujourd'hui qu'Angels est un satellite bien né.

Une deuxième version du logiciel de vol doit être injectée au mois de mars et va rendre le satellite définitivement opérationnel. A partir de là, Angels pourra intégrer dès l'été prochain la constellation Argos - constituée de 6 satellites - opérée par CLS, une filiale du CNES. Le but étant, d'ici 2022, de remplacer l'actuelle constellation de satellites qui opèrent Argos par la constellation Kinéis composée de 25 nanosatellites.

Les analyses réalisées sur Angels vont-elles être utiles pour améliorer ce que seront les satellites de la constellation Kinéis ?

Angels est un démonstrateur opérationnel. Il faut qu'il fonctionne au moins deux ans. Comme c'est un prototype pré-curseur, toutes les informations que nous allons tirer de son fonctionnement vont alimenter le développement en cours de la constellation Kinéis. Un satellite de la constellation Kinéis aura des gènes d'Angels, mais sera profondément revu, car il s'agira d'un produit industriel avec une durée de

vie de huit ans. Et dont la vocation ne sera plus scientifique mais commerciale.

Au-delà du programme Angels, quelle est la stratégie d'Hemeria sur le marché des nanosatellites ?

Il n'est pas exagéré de dire qu'aujourd'hui Hemeria est le pilier de la filière nanosatellites française. En tant que intégrateur fédérateur, Hemeria anime une communauté d'environ 15 entreprises qui intègrent de près ou de loin la [filière française](#).

Kinéis représente bien sur un gros enjeu pour nous dans les années qui viennent, puisque nous devons livrer 25 satellites d'ici 2022.

Au-delà, nous avons signé avec Thalès d'un côté et Airbus de l'autre des lettres d'intérêts mutuels, qui nous permettent d'organiser régulièrement des comités de direction pour challenger les opportunités du domaine des nanosatellites. Cela nous a amené à développer des partenariats très pertinents sur des offres IoT et d'observation.

Le second point est la thématique de militarisation de l'espace. Une des étapes consiste à mettre des guetteurs en orbite géostationnaire, projet qui intéresse au plus haut point Hemeria.

Enfin, nous répondons à des appels d'offre à l'international en adoptant une stratégie ToT - Transfer of Technology - puisqu'il s'agit aujourd'hui d'une nécessité. Cet accompagnement local fait partie du package proposé par Hemeria sur l'export.

Propos recueillis par P.T

22/01/2020

POUR ALLER PLUS LOIN

STARLINK : UN ACCÈS INTERNET PAR SATELLITE ACCESSIBLE PARTOUT DÈS 2020 ?

L'accès à internet partout sur terre répond à des enjeux de développement, d'égalité et de d'innovation. Parmi tous les projets en développement, Starlink, le nouveau bébé d'Elon Musk, est le plus avancé. Présentation.

Elon Musk a toujours vu les choses en grand. Le projet Starlink en est un exemple éclatant. Décliné en détail par Gynne Shotwell, la présidente de SpaceX, devant la télévision américaine en octobre, Starlink veut développer l'[accès internet par satellite](#) et le rendre opérationnel n'importe où sur Terre..

La constellation de satellites Starlink devrait ainsi fournir internet aux Américains dès l'année prochaine. In fine, ce sont au total [12 000 satellites qui doivent se retrouver sur des orbites relativement basses](#) (entre 328 et 580 km). Le tout d'ici 2024 !

Pour l'instant deux lancements (voir la vidéo du dernier lancement ci-dessous) - 60 mini-satellites à chaque fois - ont permis de mettre quelques 115 satellites en orbite. En effet, 3 satellites n'ont pas réussi à se placer et deux ont été retirés.

Chaque satellite pèse 227 kilogrammes pour une taille semblable à celle d'une grosse machine à laver (0,7m x 0,7m x 1m).

Voir la vidéo : <https://www.youtube.com/watch?v=plDuv0Ta0XQ>

24 lancements prévus en 2020

Starlink permettra à la société SpaceX de proposer une couverture correcte d'internet à travers la planète bien avant le placement des 12 000 satellites prévus. D'après la

présidente de SpaceX, « Il faudra au moins 24 lancements pour proposer une bonne couverture. Nous espérons avoir procédé à ces lancements avant la fin de l'année prochaine ».

Mais ce n'est pas tout. Le 16 octobre dernier, Gynne Shotwell a également demandé l'autorisation à l'[Union Internationale des Télécommunications](#) de mettre en orbite 30 000 satellites (en plus des 12 000 déjà prévus pour Starlink) supplémentaires.

Si cette demande est acceptée, SpaceX va donc placer en orbite 42 000 satellites. Tous ne seront pas nécessaires au fonctionnement de Starlink, et certains seront consacrés à des [demandes client spécifiques](#).

42 000 satellites. Un chiffre tout de même ahurissant, quand on sait qu'aujourd'hui, on compte en orbite environ 2 100 satellites actifs (un peu plus de 4 000 objets en tout orbitent autour de la Terre). Mais qui pourrait rapporter gros. L'objectif à court terme est de s'approprier 3 à 5% du marché mondial de l'internet, soit environ 30 milliards d'euros.

Une certaine dose de scepticisme

Au-delà des chiffres, la mise en place de Starlink, à laquelle nous assistons et qu'on verra encore se développer l'année prochaine, pose des questions.

Celle qui vient le premier à l'esprit concerne l'encombrement spatial. Les astronomes craignent entre autres que les observations par télescope soient plus compliquées, la visibilité étant moindre. Déjà les premières plaintes se sont faites entendre. Au mois de novembre, l'astronome Clarae Martinez-Vasquez, travaillant à l'observatoire interaméricain de Cerro Tololo au Chili, a tweeté : « *une énorme quantité de satellites Starlink a traversé notre ciel cette nuit* ».

@cerrotololo. Notre exposition DECcam a été lourdement compromise par 19 d'entre eux ! Le train de satellites a duré plus de 5 minutes ! ! Assez déprimant... ». D'autres plaintes, émanant d'autres astronomes à travers le monde ont émergées, les mini-satellites d'Elon Musk n'étant in fine pas toujours responsables des manques de visibilité !

Autre problème, le risque de collision entre satellites, qui va mécaniquement augmenter au fur et à mesure des placements de nouveaux satellites en orbite. Cela fait déjà quelques années que la problématique de l'encombrement spatial et des risques de collisions inhérents sont évoqués. Aujourd'hui, même si les estimations varient, on estime que les débris spatiaux sont extrêmement nombreux :

- 5 000 objets mesurant plus d'un mètre ;
- 20 000 objets entre 10 cm et 1m ;
- 150 000 000 de fragments de quelques millimètres.

Alors que penser ? Les satellites de Starlink vont-ils créer un encombrement spatial supplémentaire qui va rendre le risque de collision trop important ? La réponse est non, puisque l'Union Internationale des Télécommunications, qui attribue les orbites aux satellites, a donné son feu vert en connaissance de cause. Notre ciel est-il déjà pour autant encombré par trop d'engins et de débris spatiaux ? La réponse est oui. Au vu de l'autorisation donnée à SpaceX pour la mise en orbite de ses 12 000 satellites, il apparaît important de continuer le développement de projets pour "nettoyer" les orbites proches, même si cela n'est envisageable que pour des débris d'une certaine taille pour le moment. Cela fait d'ailleurs plusieurs décennies que des projets de ce type sont mis en place, sans succès caractérisé pour le moment.

Et Elon Musk dans tout ça ? Pour le milliardaire sud-africain, Starlink est une manne financière, qui devrait lui permettre de financer un projet encore plus fou et éloigné de notre vieille terre... il s'agit bien sûr de l'exploration de Mars.

P.T

16/12/2019

UNE ARMADA DE SATELLITES POUR UNE COUVERTURE MONDIALE D'INTERNET

La mégaconstellation OneWeb, composée de plus de 600 microsattelites de télécommunications, va permettre de couvrir l'ensemble de la terre en internet d'ici à 2022. Fin février, OneWeb a lancé les six premiers satellites.

Après environ 7 ans, tous les systèmes sont prêts pour le lancement, il y a un mois environ, des premiers [satellites haut débit](#) produits en série du monde. Pesant 147 kilos, ces petits [satellites](#) sont positionnés sur une orbite basse quasi polaire (1 200 km d'altitude).

Fabriquée à Toulouse par une entreprise commune à [OneWeb](#) et Airbus, cette constellation reposera sur 648 satellites opérationnels. Il y aura 252 satellites de remplacement.

Il existe différents projets d'[internet](#) par micro satellites. Mais OneWeb peut se targuer d'avoir de puissants investisseurs : Softbank (principal, actionnaire), Virgin Group, Coca-Cola et Qualcomm. Intelsat, le numéro un mondial des télécommunications par satellite, devait se rapprocher de ce projet, mais le mariage n'a pas eu lieu.

Ce lancement témoigne aussi du succès de Syrlinks. Installée à Cesson-Sévigné, cette entreprise va produire plus de 3 000 équipements radiofréquence pour faire fonctionner cette constellation ; il s'agit d'un émetteur-récepteur pour contrôler le satellite à partir de l'infrastructure au sol et d'un amplificateur faible bruit à l'entrée du récepteur GPS. Cet émetteur-récepteur constitue un vrai cordon ombilical. Il permet de commander et contrôler les satellites, et de les faire communiquer avec la Terre.

Mais y aura-t-il de la place pour tout le monde ? De nombreux industriels aux États-Unis, en Europe, en Asie, ou

encore au Brésil ont des projets de constellations de micro ou nanosatellites. Ainsi Starlink, initié par SpaceX, prévoit de lancer 12 000 satellites.

De quoi augmenter le nombre de déchets dans l'espace...

28/03/2019

UN NANOSATELLITE FRANÇAIS POUR PERCER LES MYSTÈRES DE BETA PICTORIS

Il est grand comme trois pommes, ou plutôt comme les trois cubes de 10 centimètres de côté qui le composent. Il n'est pas plus lourd qu'un chat (3,5 kg). Sa consommation électrique, d'environ 5 W, équivaut à celle d'une ampoule économique. Et son télescope ne fait que cinq centimètres de diamètre, comme ceux des astronomes amateurs débutants. Pourtant, ce nanosatellite va permettre de mieux connaître le système de l'étoile Beta Pictoris, une star du ciel de l'hémisphère Sud.

Beta Pictoris n'est qu'à 63,4 années-lumière de nous et très brillante, ce qui la rend facile à étudier. Cela tombe bien : c'est une étoile extrêmement jeune, seulement 23 millions d'années, qui passionne les chercheurs depuis la découverte d'un grand disque de poussières, de gaz et de débris rocheux autour d'elle, au début des années 1980. Ce disque, vestige du nuage primitif qui a donné naissance à l'étoile, est un cas d'étude rare pour les astronomes du monde entier, qui le scrutent régulièrement depuis : mieux connaître Beta Pictoris, c'est mieux comprendre la formation des planètes géantes et des systèmes planétaires en général. En 2009, une équipe française dirigée par Anne-Marie Lagrange y a découvert une planète gazeuse géante : Beta Pictoris b, sept fois plus massive que Jupiter, qui tourne autour de son étoile à 1,5 milliard de kilomètres de distance, comme Saturne autour du Soleil.

Or, vue de la Terre, la planète Beta Pictoris b pourrait passer devant son étoile d'ici l'été 2018. Observer ce transit, qui se reproduit tous les 18 ans, permettrait de déduire la taille exacte de l'exoplanète, l'étendue et la composition de son atmosphère, et sa composition chimique. Mais un transit de la planète ne durera que quelques heures. Réus-

sir à observer ce phénomène, dont on ne connaît pas le moment exact, impose donc une surveillance continue du système planétaire : c'est possible seulement depuis l'espace, notamment pour échapper au cycle jour-nuit et au passage des nuages.

Pour tenter d'observer ce transit, seul un satellite très léger, un nanosatellite, pouvait être développé en un délai très court. PicSat a été conçu puis construit en trois ans seulement, grâce à l'utilisation de modules de base cubiques "CubeSat", un format conçu aux Etats-Unis, à visée pédagogique, pour des projets étudiants. Pour le CNRS et l'Observatoire de Paris, c'est le tout premier satellite entièrement conçu et intégré dans leurs murs. PicSat est né d'une idée de Sylvestre Lacour, astrophysicien au CNRS, en collaboration avec Alain Lecavelier des Etangs, de l'Institut d'Astrophysique de Paris (CNRS/Sorbonne Université), qui travaille sur le système Beta Pictoris depuis de nombreuses années. Sylvestre Lacour a concrétisé ensuite le projet au sein de son laboratoire, le Lesia (Observatoire de Paris - PSL/CNRS/Sorbonne Université/Université Paris-Diderot) avec une petite équipe de chercheurs et ingénieurs. C'est ainsi une nouvelle approche instrumentale qui s'amorce pour la recherche spatiale française. Les développements technologiques se sont opérés dans le cadre du campus spatial CERES de l'Université PSL, sur le site de l'Observatoire de Paris, à Meudon. Le projet PicSat s'est concrétisé principalement grâce à un financement de l'European Research Council (ERC). Il a reçu également le soutien du CNES, du Labex Esep et de la FONDATION MERAC dans le cadre de son programme d'aide aux jeunes chercheurs en astrophysique.

C'est le 12 janvier 2018 à 4h58 (heure française) que

décollera le lanceur indien PSLV pour placer PicSat sur une orbite polaire à 505 km d'altitude, en même temps que trente autres satellites. PicSat sera ensuite exploité à partir du Lesia, à Meudon. Cependant, la station du laboratoire ne pourra observer le satellite qu'environ 30 minutes par jour. Or, PicSat transmet sur les fréquences radioamateurs, grâce à l'aide du Réseau des émetteurs français (REF). Toute personne disposant d'un minimum d'équipement de réception radio pourra écouter ses transmissions. L'équipe PicSat invite donc les radioamateurs à collaborer pour suivre le satellite, recevoir ses données et les transmettre à la base accessible sur internet. Sur *PicSat.obspm.fr*, toute personne intéressée peut s'inscrire, suivre les mises à jour et, si elle le souhaite, faire partie du réseau radio.

PicSat est prévu pour fonctionner pendant un an. Dès qu'il observera le début du transit de la planète ou tout autre phénomène, le télescope de 3,6 mètres de diamètre de l'ESO, à la Silla au Chili, sera immédiatement activé pour observer le phénomène à son tour à l'aide de l'instrument Harps. Associées à celles de PicSat, ses données permettront d'affiner les mesures.

Source : [cnrs](#)

10/01/2018

PETITS SATELLITES : PREMIÈRES EXIGENCES INTERNATIONALES

L'ISO a publié en août 2018 les premières lignes directrices internationales pour les petits engins spatiaux afin que tous les nouveaux arrivants puissent suivre et respecter des exigences minimales communes pour la fabrication de leurs systèmes.

La nouvelle industrie spatiale, qui s'appuie notamment sur l'utilisation de micro- ou nanosatellites, a ouvert la porte à beaucoup de nouveaux arrivants sur ce secteur particulier. Les experts du secteur se sont inquiétés de voir des engins dont la fabrication, l'exploitation ou la récupération ne soient pas assurées dans des conditions d'exigences minimales que les acteurs historiques se sont fixés pour préserver la sécurité des autres occupants de l'espace. [Il faut dire que le nombre de lancements d'engins spatiaux n'a jamais été aussi grand. Et cela va encore augmenter.](#) Un rapport de la société SpaceWorks souligne ainsi une augmentation de 205 % du nombre de nanosatellites lancés entre 2017 et 2016. Une tendance qui devrait perdurer encore plusieurs années au vu des constructions en cours ou prévues. On estime ainsi que 2600 petits engins spatiaux devraient être lancés dans les cinq prochaines années.

Un cadre pour les petits développeurs

Pour l'ISO, ce document n'est pas un frein à l'entrée sur le marché de nouveaux opérateurs mais plutôt une aide pour être plus conformes aussi aux exigences des grandes entreprises du secteur ou des agences gouvernementale avec lesquelles ils travailleront peut-être. En effet, la fabrication de ce type d'engins implique le respect de certaines normes ou réglementations que certains nouveaux arrivants ignorent peut-être. Grâce à [ISO/TS 20991](#), Systèmes spatiaux – Exigences relatives aux petits engins spatiaux, ils peuvent connaître les attendus minimaux pour les différentes étapes du cycle de vie des systèmes des petits engins spatiaux, et ce qu'elle que soit leurs missions. [Ces](#)

[lignes directrices servent notamment à mieux assurer la sécurité et la mitigation des débris spatiaux.](#) Elle aborde tant les phases de conception, de lancement, de déploiement et d'exploitation que celle du retrait de service et se réfèrent aux normes déjà existantes.

Par **Sophie Huguin**

01/10/2018

GAGNEZ DU TEMPS ET SÉCURISEZ VOS PROJETS EN UTILISANT UNE SOURCE ACTUALISÉE ET FIABLE

Techniques de l'Ingénieur propose la plus importante collection documentaire technique et scientifique en français !

Grâce à vos droits d'accès, retrouvez l'ensemble des **articles et fiches pratiques de votre offre**, **leurs compléments et mises à jour**, et bénéficiez des **services inclus**.



RÉDIGÉE ET VALIDÉE
PAR DES EXPERTS



MISE À JOUR
PERMANENTE



100 % COMPATIBLE
SUR TOUS SUPPORTS
NUMÉRIQUES



SERVICES INCLUS
DANS CHAQUE OFFRE

- + de 350 000 utilisateurs
- + de 10 000 articles de référence
- + de 80 offres
- 15 domaines d'expertise

- ☐ Automatique - Robotique
- ☐ Biomédical - Pharma
- ☐ Construction et travaux publics
- ☐ Électronique - Photonique
- ☐ Énergies
- ☐ Environnement - Sécurité
- ☐ Génie industriel
- ☐ Ingénierie des transports
- ☐ Innovation
- ☐ Matériaux
- ☐ Mécanique
- ☐ Mesures - Analyses
- ☐ Procédés chimie - Bio - Agro
- ☐ Sciences fondamentales
- ☐ Technologies de l'information

**Pour des offres toujours plus adaptées à votre métier,
découvrez les offres dédiées à votre secteur d'activité**

Depuis plus de 70 ans, Techniques de l'Ingénieur est la source d'informations de référence des bureaux d'études, de la R&D et de l'innovation.

www.techniques-ingenieur.fr

CONTACT : Tél. : + 33 (0)1 53 35 20 20 - Fax : +33 (0)1 53 26 79 18 - E-mail : infos.clients@teching.com

LES AVANTAGES ET SERVICES compris dans les offres Techniques de l'Ingénieur

ACCÈS



Accès illimité aux articles en HTML

Enrichis et mis à jour pendant toute la durée de la souscription



Téléchargement des articles au format PDF

Pour un usage en toute liberté



Consultation sur tous les supports numériques

Des contenus optimisés pour ordinateurs, tablettes et mobiles

SERVICES ET OUTILS PRATIQUES



Questions aux experts*

Les meilleurs experts techniques et scientifiques vous répondent



Articles Découverte

La possibilité de consulter des articles en dehors de votre offre



Dictionnaire technique multilingue

45 000 termes en français, anglais, espagnol et allemand



Archives

Technologies anciennes et versions antérieures des articles



Impression à la demande

Commandez les éditions papier de vos ressources documentaires



Alertes actualisations

Recevez par email toutes les nouveautés de vos ressources documentaires

*Questions aux experts est un service réservé aux entreprises, non proposé dans les offres écoles, universités ou pour tout autre organisme de formation.

ILS NOUS FONT CONFIANCE



www.techniques-ingenieur.fr

CONTACT : Tél. : + 33 (0)1 53 35 20 20 - Fax : +33 (0)1 53 26 79 18 - E-mail : infos.clients@teching.com

OFFRE



Innovations technologiques

La veille technologique comme moteur d'innovation pour anticiper les prochaines évolutions de marché;
Ref : TIP958WEB

PRÉSENTATION

Un outil de veille technologique pour identifier les enjeux industriels de demain:

les dernières avancées scientifiques et techniques: description **des grands projets de R&D et des innovations en cours** dans le secteur de la recherche privée et publique,
les grandes tendances technologiques: panoramas de **réalisations au stade industriel ou pré-industriel, des études sectorielles et des analyses prospectives** pour anticiper les prochaines évolutions de marché,
l'ensemble **des outils et des méthodes** pour maîtriser les grandes étapes du **processus de l'innovation**: de l'analyse des besoins au management de projet innovant, jusqu'au financement et à la protection de l'innovation,
l'ensemble **des pratiques d'éco-conception** à disposition des professionnels, sans oublier les aspects marketing et de financement, ainsi que de nombreuses études de cas.

VOTRE COMMANDE :

Référence	Titre de l'ouvrage	Prix unitaire H.T	Qté	Prix total H.T
TIP958WEB	Innovations technologiques	1 220 €	1	1 220 €
Total H.T en €				1 220 €
T.V.A : 5,5%				67,10 €
Total TTC en €				1 287,10 €

VOS COORDONNÉES :

Civilité ☐ M. ☐ Mme

Prénom

Nom

Fonction

E-mail

Raison sociale

Adresse

Code postal

Ville

Pays

Date :

Signature et cachet obligatoire

CONDITIONS GÉNÉRALES DE VENTE

Conditions générales de vente détaillées sur simple demande ou sur www.technique-ingenieur.fr

Si vous n'êtes pas totalement satisfait, vous disposeriez d'un délai de 15 jours à compter de la réception de l'ouvrage pour le retourner à vos frais par voie postale. Livraison sous 30 jours maximum.