

## Groupe pour l'Espace des élus français

11 avril 2018

### Vision de l'ONERA des enjeux spatiaux

Je vous remercie de cette invitation qui me permet de vous présenter la manière dont l'ONERA perçoit les enjeux du secteur spatial aujourd'hui. Il y a presque trois ans j'ai présenté devant le GPE nos principales activités spatiales ; mais beaucoup de changements sont intervenus depuis !

Le secteur spatial connaît des bouleversements qui sont désormais visibles par tous : **j'en mentionnerais quatre qui concernent particulièrement l'ONERA :**

**1 : L'accès à l'espace**, qui connaît des changements majeurs avec – contrairement aux prévisions de tous les « experts » - le pari gagné en seulement cinq ans d'Elon Musk. Space X révolutionne l'industrie aérospatiale en reculant les limites technologiques des lanceurs actuels. Tout récemment – le 6 février dernier - Falcon Heavy est devenu le lanceur le plus puissant du monde avec une capacité de mise en orbite de plus de 54 tonnes soit la masse d'un Boeing 737 chargé de ses passagers et de son carburant. Il n'est pas exagéré de dire, qu'en moins de cinq ans, l'ensemble de ces tirs et missions spatiales réalisés par SpaceX, en dépit de quelques inévitables échecs (**mais c'est important, si l'on veut innover, d'accepter d'avoir des échecs**), a complètement bouleversé tout le secteur aérospatial et ouvert de nouvelles perspectives en matière de conquête spatiale, qui semblaient relever encore de la science-fiction au début de cette décennie.

Mais, à l'autre extrémité de ce marché spatial en plein essor, SpaceX compte bien également s'imposer sur le lucratif marché des mini et microsatellites. Les projets impliquant la mise en orbite basse terrestre (moins de 500 km), de ce type de satellite ne cessent de se multiplier, tant dans le domaine militaire que scientifique et industriel.

Sur ce marché, de nombreuses initiatives – Vector, Rocketlab – ambitionnent également de révolutionner le marché avec de nouvelles offres de prix et des fréquences de lancement de l'ordre de 500 par an.

La situation de l'Europe est critique et en novembre dernier, avant même le succès de Falcon Heavy, le ministre de l'économie Bruno Le Maire ne cachait pas son inquiétude : *« un lancement d'Ariane 5 c'est 100 millions d'euros à chaque lancement. L'objectif pour Ariane 6 c'est d'arriver à 50-60 millions d'euros le lancement. SpaceX c'est aujourd'hui 50 millions le lancement et d'ici deux, trois ans parce que c'est un lanceur que l'on peut récupérer, ce sera 10 millions d'euros le lancement (plutôt 35 millions), cinq fois moins cher qu'Ariane 6. (...) Je souhaite que l'on continue à investir dans l'innovation. Je souhaite que l'on réfléchisse à une stratégie en matière de lanceurs récupérables au niveau européen »*. La récupération est une première étape, la réutilisation est probablement le vrai enjeu de la baisse de coût.

## **2 : L'espace comme un milieu de confrontation**

L'espace est militarisé depuis les débuts de sa conquête, puisque milieu de transit des missiles balistiques et milieu de mise à poste de satellites. En tant que zone de mise à poste, il prolonge la recherche de l'avantage donné par la maîtrise d'un « point haut ». C'est aussi un milieu intimement lié aux capacités nucléaires et balistiques des Etats.

Pour la première fois, la Revue stratégique de défense et de sécurité nationale publiée à l'automne 2017 cite « l'espace exo-atmosphérique » dans le cadre de la rubrique « des espaces contestés ». Il y est notamment indiqué qu'il s'agit d'un milieu « peu régulé » et que la banalisation de l'accès à l'espace va en faire un domaine de confrontation entre Etats. Autrement dit que la question de l'arsenalisation de l'espace y est plus ou moins posée.

La prolifération de la menace balistique n'est pas à proprement parler un sujet nouveau, mais elle se pose avec une acuité particulière depuis quelques temps avec les gesticulations de la Corée du nord et un peu avant de l'Iran. Ce qui relance le sujet de l'alerte spatiale.

Rien de ce qui se passe dans l'espace n'est donc anodin pour la France, et pour l'Europe.

## **3 : L'évolution des systèmes orbitaux et la miniaturisation des capteurs.**

La révolution dans le domaine des capteurs qui équipent les satellites a déjà commencé : à titre d'illustration, pour l'observation de la terre, de nouvelles percées en optique permettent d'envisager des instruments très compacts dans un futur proche. Cette rupture permettra de s'affranchir de la lourde optique qui constitue les satellites d'imagerie traditionnels. Ceux-ci sont le plus souvent des télescopes spatiaux, comme Hubble, mais dirigés vers la Terre. La taille de leurs miroirs et de leurs optiques implique un poids souvent considérable, qui se répercute sur le coût de la mise en orbite.

Le paysage des plateformes et des équipementiers sera bouleversé par ce type de rupture et celui des lanceurs le sera tout autant en raison de la diminution de la masse des satellites.

## **4 : Les fortes velléités de la Commission Européenne en matière de recherche dans les domaines de l'espace et de la défense.**

Nous avons d'ailleurs eu la visite à Palaiseau vendredi 6 mars dernier du directeur politique spatiale, Copernicus et défense de la DG GROW de la Commission Européenne, Philippe Brunet. Il nous a notamment rappelé les échéances décisionnelles d'ici mai juin et l'importance des montants financiers attendus. Il nous a également exprimé sa satisfaction des éléments produits par l'ESRE, l'association que nous avons créée en 2016 (j'en avais évoqué la perspective lors de mon précédent passage devant le GPE, c'est aujourd'hui une réalité) avec DLR/NLR/INTA/CIRA pour fédérer nos efforts dans le domaine de la R et D spatiale innovante en Europe et sa forte attente vis-à-vis de l'ESRE. On a également pu noter les relations « complexes » de la CE avec l'ESA.

**Je vais maintenant vous présenter les compétences de l'ONERA ainsi que quelques initiatives que j'ai récemment décidé pour aller de l'avant et ainsi relancer une dynamique d'innovation pour le spatial.**

## A) Concernant l'accès à l'espace

Dès sa création en 1946, l'ONERA s'est intéressé à ce qu'on n'appelait pas encore l'espace. L'ONERA réalisait et assurait le lancement de fusées sondes à des fins scientifiques et surtout pour acquérir les compétences indispensables aux systèmes d'armes dont la France voulait se doter. Outre acquérir des compétences, **la finalité première était de maîtriser la construction des missiles stratégiques et tactiques.**

L'ONERA a contribué aux recherches, et a **servi d'expert technique pour améliorer le fonctionnement des lanceurs, mais également, pour analyser les causes d'échecs et trouver les solutions permettant de remédier aux défaillances.** C'est ainsi que l'ONERA est intervenu après l'échec du deuxième vol d'Ariane 1 pour remédier aux instabilités de combustion qui étaient apparues dans un moteur VIKING du premier étage du lanceur. Plus tard, l'ONERA s'est également beaucoup investi dans la fiabilisation de l'allumage du moteur cryotechnique HM7 du troisième étage d'Ariane. Plus récemment, l'ONERA est intervenu dans les travaux qui ont permis le retour en vol d'Ariane 5 au début des années 2000.

Très naturellement, l'ONERA a accompagné l'industrie et le CNES dans le programme Ariane 6, nos travaux ont principalement consisté à permettre de concilier : la réduction des coûts, l'amélioration des performances, la fiabilité du lanceur et le respect de l'environnement. Nous pourrions revenir dans le débat si vous le souhaitez sur le détail des actions pour Ariane 6, mais je voudrais plutôt ici vous parler des lanceurs réutilisables.

L'ONERA étudie de nouveaux concepts de petits lanceurs - comme EOLE ou ALTAIR - qui seraient - pour une utilisation militaire ou civile - capables de mettre à poste avec un préavis très court une charge utile autorisant le remplacement d'une capacité détruite ou neutralisée.

Le projet européen ALTAIR, piloté par l'ONERA, a comme objectif le lancement de petits satellites de 50 à 150 kg sur des orbites basses entre 400 et 1000 km. ALTAIR est un système semi-réutilisable qui utilise comme porteur un avion automatisé réutilisable qui libère en altitude un petit lanceur consommable.

Les travaux de conception du système sont accompagnés par des essais en vol du démonstrateur EOLE qui permet de valider les solutions technologiques retenues et notamment l'avionique du lanceur et sa séquence de largage. Après les essais en métropole une campagne de validation est prévue au CSG à l'été 2018.

De tels systèmes de lancement permettraient ainsi de contribuer à la robustesse aux agressions d'un service assuré par des moyens spatiaux. Ils permettraient également de lancer sans avoir recours à l'utilisation d'infrastructures dédiées au spatial avec des spatio-ports alternatifs comme proposés récemment en Europe (Açores par exemple).

Par ailleurs, j'ai récemment décidé de doter l'ONERA d'une « feuille de route » dédiée aux lanceurs réutilisables qui concerne aussi bien le développement de nouveaux concepts pour le lancement de mini satellites que les développements des technologies indispensables à la réutilisation. Elle jalonne pour les cinq à dix ans qui viennent notre effort dans ce domaine.

Les compétences de l'ONERA sont précieuses pour la réutilisation car il s'agit d'une véritable phase de vol piloté qui mettra à profit toutes nos connaissances en matière

d'aéronefs et de missiles. En effet, assurer le guidage et le pilotage du lanceur pour la phase de retour de façon automatique et autonome avec une précision métrique nécessite des lois de guidage, pilotage et navigation adaptées aux multi-actionneurs afin de garantir la fiabilité du système et des possibilités de reconfigurations de mission.

Un autre axe concernera la définition d'une maintenance adaptée : pour réduire les coûts, les différents développements technologiques devront être accompagnés de modes opératoires de remise en configuration et de lancement s'inspirant des méthodes aéronautiques. Les lanceurs seront évidemment moins nombreux que les avions aujourd'hui et leur exploitation restera, dans la décennie à venir, assurée par le constructeur. L'activité consistera donc à transposer au monde du lancement spatial les méthodes et outils développés dans le cadre aéronautique pour atteindre des cycles courts de remise en état et maximiser la disponibilité du système de lancement.

## **B) L'espace comme milieu de confrontation**

De nombreuses réalisations et thématiques de recherche illustrent les compétences de l'ONERA relatives à ce sujet d'actualité :

### **La surveillance de l'espace**

La surveillance de l'activité dans l'espace exo-atmosphérique revêt une importance particulière puisqu'il n'existe pas d'instrument légal international contraignant concernant les conflits dans l'espace. Le traité entré en vigueur en 1967 et signé par les Etats-Unis, l'URSS et le Royaume-Uni interdit la mise en orbite autour de la terre d'armes nucléaires ou de toute autre forme d'armes de destruction massive. Ce traité a été signé par la France en 1970. Aucun traité en revanche n'interdit la mise en place d'autres types d'armes.

Pour sa part le code de conduite de l'UE de 2008 entend « prévenir la course aux armements dans l'espace ».

Le radar GRAVES (Grand Réseau Appliqué à la Veille Spatiale) est l'unique système opérationnel de veille et de surveillance de l'espace en Europe pour les orbites basses. Il est utilisé par notre Armée de l'Air et ses données sont exploitées au CDAOA/COSMOS (Commandement de la défense aérienne et des opérations aériennes) basé au mont Verdun près de Lyon. Il a été conçu de A à Z par l'ONERA et c'est aussi l'ONERA qui a piloté sa réalisation ; il permet de suivre au quotidien les satellites – typiquement de la gamme des mini-satellites - qui évoluent jusqu'à une altitude de 1000 km. Grâce à lui la France dispose de manière autonome d'une base de données des éléments orbitaux des différents satellites. Depuis sa mise en service opérationnel en 2005 il a répertorié et assure le suivi de plus de 2500 objets qui passent au-dessus de notre territoire.

Il faut remarquer que 1000 km n'est pas une altitude limitative : au-delà, on peut suivre des satellites plus gros que les mini-satellites.

Cette réalisation illustre aussi la contribution de l'ONERA à la souveraineté de notre pays et à sa diplomatie. Lorsque les américains ont réalisé que la mise en service du système était

imminente, ils nous ont demandé quelles étaient nos intentions concernant les données orbitales des satellites américains. Nous leur avons dit que la France n'entendait pas rendre publics des éléments relatifs aux satellites d'un pays ami comme les Etats-Unis. La réaction américaine fut quasi immédiate et fut de supprimer des données publiques du « Space Command » les éléments concernant les satellites militaires français comme Hélios. Cette anecdote montre comment un système technique comme GRAVES peut avoir des effets dimensionnant la nature même des relations entre alliés.

L'avenir est-il au développement d'un Manuel de droit applicable aux usages militaires dans l'espace ? L'initiative MILAMOS (Manual on International Law Applicable to Military Uses of Outer Space) dont les bases ont été posées en 2015 par le Centre de droit aérien et spatial de l'université McGill va dans ce sens.

Dans tous les cas l'expérience acquise par la France avec GRAVES lui permettra de contribuer en connaissance de cause aux négociations internationales.

**J'ajouterai que le prix du système GRAVES:** 30 M€ en deux phases - maquette probatoire et système complet - fut très faible pour un système opérationnel depuis plus de douze ans. Il y a très peu de systèmes opérationnels de haute technologie, civils ou militaires, qui peuvent en dire autant.

Un contrat de rénovation à mi- vie nous a été notifié par la DGA en novembre 2016. Les actions concernent essentiellement les émetteurs et les calculateurs de réception. La rénovation permet d'étendre la durée de vie du système jusqu'en 2030 et prévoit aussi des améliorations de performances de détection face à des objets spatiaux de plus en plus nombreux et aux dimensions de plus en plus réduites.

Après réalisation des améliorations prévues, on envisage de pouvoir observer et cataloguer des microsattelites. Ainsi on change de gamme en passant des mini-satellites actuellement aux microsattelites dans le futur.

**Pour l'instant il n'y a pas de programme décidé d'un successeur au système GRAVES mais des études poussées existent sur un moyen présentant des performances beaucoup plus élevées.**

La feuille de route scientifique et technologique intitulée « Système de tenue de situation spatiale » que l'on a récemment mise en place a comme objectif de :

- Préparer le successeur de GRAVES, éventuellement grâce à un démonstrateur,
- Proposer des systèmes d'imagerie par optique adaptative et Imagerie radar inverse (ISAR) pour les orbites basses
- Élargir la surveillance vers les orbites hautes

Comme vous le constatez, la surveillance de l'espace ne se limite pas à l'emploi de moyens radars mais inclut l'optique grâce à l'utilisation des compétences de l'ONERA en optique adaptative. L'optique adaptative permet de corriger en temps réel les perturbations causées

par les turbulences de l'atmosphère terrestre et d'obtenir une image en haute résolution d'un satellite qui permet l'identification des sous-systèmes qui le composent.

### **L'alerte anti-balistique**

L'alerte antibalistique est souvent croisée avec la surveillance de l'espace, les objets spatiaux constituant les fausses alarmes des systèmes de détection balistiques.

Pour être capable de contrer un missile balistique de théâtre, le point clé est de pouvoir détecter son lancement suffisamment tôt pour permettre à un système de défense anti missile d'entrer en action ou d'alerter la zone ciblée avec un préavis suffisant pour la protection des populations.

Cette détection doit se faire avec une probabilité maximale, le plus tôt possible et avec un taux de fausses alarmes le plus faible possible. L'alerte doit également restituer la trajectoire des missiles avec la meilleure précision possible.

### **L'alerte radar**

Un premier moyen pour réaliser cette détection est fourni par les radars basse fréquence, longue portée surveillant la zone à risque à bas site.

L'ONERA avec la société Thales a réalisé le démonstrateur radar TLP (Très Longue Portée). Ce démonstrateur représente le 8<sup>ème</sup> du radar opérationnel. Il fonctionne dans la bande de fréquence UHF, particulièrement bien adaptée à la mission d'alerte. Les premiers essais ont débuté en 2017 et se prolongent pour valider les performances sur des objets en orbite. Ils ont fourni des premières mesures prometteuses, confirmant s'il en est besoin l'expérience de l'ONERA dans ce domaine des radars basse fréquence.

### **L'alerte spatiale**

SPIRALE (Système Préparatoire Infra-Rouge pour l'ALerte) est un programme d'études amont (PEA) exploratoire de la DGA qui a permis à la France de fabriquer un démonstrateur d'alerte avancée par satellite, capable de détecter des tirs de missiles, d'identifier leurs auteurs et de déterminer leur cible. L'ONERA a eu la charge d'exploiter la base de données constituée par la mission en la confrontant notamment aux résultats de modélisation des fonds de terre dans l'infrarouge d'une part et des signatures infrarouges des missiles d'autres part.

Compte tenu des performances de détection souhaitées pour l'alerte, l'objectif est d'obtenir le contraste le plus élevé possible entre le missile et le fond de terre sur lequel il est vu. Pour l'exploitation de la base SPIRALE, l'ONERA a mis en place une chaîne de traitement capable in fine de restituer la trajectoire des missiles.

**L'ONERA dispose ainsi de ces compétences rares à l'heure où de plus en plus de pays cherchent à se doter de missiles balistiques.**

## Etudes et armes anti-satellites (ASAT)

L'ONERA a mené de nombreuses études systèmes, théoriques et expérimentales, sur les possibilités offertes par les armes antisatellites (ASAT). Ces études concernent aussi bien des moyens de destruction utilisant des techniques proches de la DAMB (Défense anti missiles balistiques) que les armes à énergie dirigée comme les laser et microondes qui visent l'aveuglement ou le brouillage.

Plus précisément l'ONERA a mené des essais en vraie grandeur relatifs à l'éblouissement temporaire des capteurs d'un satellite d'observation de la terre. Ainsi, profitant de la fin de vie programmée d'un satellite SPOT, les équipes de l'ONERA ont mis en œuvre un système d'éblouissement par un laser ionique des capteurs qui équipaient les voies « haute résolution visible » du satellite. Ce système qui a dû être constitué très rapidement fut réalisé à partir de composants principalement issus du commerce. Il fut implanté sur un télescope de poursuite de satellites de l'Observatoire de la Côte-d'Azur sur le plateau de Calern près de Grasse. L'essai d'éblouissement, réussi, a eu lieu en 1992.

## La sécurité des systèmes spatiaux

Les satellites sont qualifiés de sensibles dès lors qu'ils contribuent à la satisfaction de fonctions stratégiques telles que la surveillance, le renseignement, les télécommunications, l'observation du champ de bataille ou encore la conduite des opérations.

Depuis les années soixante un certain nombre de tests de moyens anti satellites ont été menés par les Etats Unis, la Russie – dans une certaine mesure la France – et en 2007 par la Chine.

Les études de l'ONERA relatives à la protection des satellites sensibles se sont plus spécifiquement orientées vers la protection de la mission remplie par le satellite plus que la protection du satellite lui-même. Il est de ce fait primordial que la mission ne dépende pas d'un satellite unique et que la perte d'un élément n'entraîne plus la perte de la mission, mais seulement une dégradation à quantifier. Les travaux de l'ONERA se sont ainsi concentrés sur trois notions :

- **la redondance** afin de réaliser une même fonction à l'aide de plusieurs satellites qui est autorisée par la réduction de taille, de masse et de coût des satellites;
- **la réactivité** pour être capable – le cas échéant – de lancer des satellites avec un préavis court pour alimenter un essaim ou une constellation de satellites dont un ou plusieurs éléments auraient été mis hors service à la suite d'une agression intentionnelle ou de pannes ;
- **la reconfiguration** qui, en dotant chaque satellite d'une intelligence, permettrait la reconfiguration de l'essaim ou de la constellation afin d'assurer la mission.

## La météorologie de l'espace

L'espace, c'est aussi un milieu qui peut être dangereux du simple fait des phénomènes naturels dont il est le siège. On sait à quel point les conditions météorologiques atmosphériques affectent les opérations militaires et – à l'instar de la météorologie classique – il existe aussi une météo de l'espace dont la connaissance est déterminante pour une puissance spatiale telle que la France. L'ONERA a dédié une des équipes de scientifiques à cette activité. Il s'agit notamment de modéliser les ceintures de radiations et les flux de particules chargées et d'étudier théoriquement et expérimentalement les interactions entre un satellite et son environnement.

Concernant ces derniers thèmes, la recherche sera alimentée par une feuille de route intitulée « Survivabilité des systèmes spatiaux » qui couvre en particulier :

- la météorologie de l'espace ;
- les effets de la météorologie et de l'environnement spatiaux sur les systèmes en orbite ;
- les menaces spatiales militaires ;
- la vulnérabilité des systèmes spatiaux aux agressions intentionnelles de ces menaces ;
- les concepts et technologies de résilience aux menaces, naturelles et intentionnelles.

## C) L'évolution des systèmes orbitaux et la miniaturisation des capteurs et des instruments

### L'imagerie par radar à synthèse d'ouverture (SAR)

Dans le domaine des radars imageurs ou radars à synthèse d'ouverture, l'ONERA dispose de tous les moyens de produire des images de jour comme de nuit et ce quelles que soient les conditions météorologiques. L'observation avec un radar SAR fournit des images très riches en information mais qui sont moins intuitives qu'en optique. Il est donc indispensable de comprendre la physique pour pouvoir spécifier et concevoir les capteurs et développer les traitements et les outils d'exploitation.

L'ONERA est le **centre français de compétence en matière de radar imageurs SAR** spatiaux car il a maintenu un savoir-faire dans ce domaine, malgré la décision de laisser à l'Allemagne l'observation spatiale militaire de la terre au moyen de radars, grâce à ses travaux dans les SAR dans l'aéronautique notamment pour le compte de la défense. Ce qui est beaucoup plus complexe qu'en utilisation spatiale (correction des turbulences notamment).

### L'imagerie optique

En optique, un des axes d'effort de l'ONERA concerne l'imagerie « hyper spectrale ». Il s'agit de concevoir de nouveaux systèmes optiques avec les traitements d'images associés pour



affiner la caractérisation et la connaissance des sols ou de cibles potentielles. Cet accroissement d'information sera autorisé par la découpe du spectre électromagnétique en bandes fines et par l'analyse détaillée des caractéristiques de réflectance dans chacune de ces bandes. L'imagerie hyper spectrale permettra d'exploiter le maximum d'information dans chaque pixel d'une image et rendra possibles la discrimination et la classification des différents éléments d'une image. Avec cette technique, il sera possible de classifier tout objet par sa signature unique et de rendre caduques nombre de méthodes de camouflage et de détecter des objets enterrés. La détection infrarouge est également très prometteuse à ce sujet mais nécessite encore des études pour réduire le diamètre des optiques.

Globalement, une révolution à venir dans l'imagerie haute résolution de la terre est possible avec l'avènement d'instruments compacts.

Une piste de recherche pour ces futurs télescopes compacts est constituée par les télescopes galette qui pourraient permettre de s'affranchir de la lourde optique qui constitue les satellites d'imagerie traditionnels et pourront être intégrés sur de petites plateformes de satellites avec un coup moindre sur tous les plans. Par ailleurs, il sera facile de déployer plusieurs petits satellites afin de rendre le système robuste. Une autre piste très prometteuse consiste à remplacer le miroir de l'instrument optique par un ensemble – une matrice – de petites lentilles associées à un plan focal de détecteurs. Les informations élémentaires sont ensuite combinées par interférométrie. Grâce à cette technique, un instrument ayant la même résolution que le télescope spatial Hubble – dont l'instrument optique mesure près de neuf mètres de longueur – serait compacté dans une épaisseur de 3 cm environ. En outre, par rapport à un instrument d'optique classique, les contraintes d'alignement mécaniques sont largement relâchées.

Deux feuilles de route de l'ONERA sont actuellement dédiées au futur des satellites :

#### **« Capteurs électromagnétiques et optroniques compacts pour l'observation de la Terre et de l'activité anthropique »**

Elle rassemble un ambitieux programme de recherches et de réalisations relatif à tous les types d'instruments :

- d'**imageurs compacts panchromatiques** pour la surveillance de la scène opérationnelle depuis un petit satellite ;
- d'**imageurs compacts 4D - multi ou hyperspectraux, 3D -**, pour la surveillance de la scène opérationnelle et de l'environnement naturel depuis un petit satellite ;
- d'**imageurs spectroscopiques compacts** pour la surveillance de l'atmosphère depuis l'espace,
- d'un **lidar ultra-compact**,
- d'un **accéléromètre de haute précision**, domaine dans lequel même les américains viennent se fournir à l'ONERA, pour nanosatellite,

Cette feuille de route a comme mot d'ordre « **Concevoir, prototyper, expérimenter en cycles courts et consolider si pertinent** ». Il s'agit de mener des actions depuis le prototypage technologique rapide en laboratoire et FabLab, jusqu'aux démonstrations technologiques d'instruments, de traitements et de concept de fonctionnement.

C'est d'ailleurs une caractéristique commune à toutes nos feuilles de route.

La seconde feuille de route est intitulée « **Missions et capteurs pour les microsattellites** ». Elle fédérera les études de l'ONERA autour d'un système opérationnel d'essaim de nanosatellites et d'une démonstration en orbite. La démonstration devra être ambitieuse par rapport aux systèmes existants sous peine d'être rapidement obsolète.

Plus précisément il s'agira de :

- Réaliser des démonstrateurs de charges utiles pour nanosats ;
- Développer les briques de l'assemblage en orbite ;
- Mettre au point le contrôle/commande de l'attitude et de la position (actuateurs permettant l'agilité, senseurs, lois de commande), rendez-vous, autonomie décisionnelle, robotique ;
- Maîtriser ou développer les briques du vol en formation ;
- Développer une propulsion électrique de faible puissance ;
- Gérer de manière optimisée la formation, l'échange de données entre les nanosatellites et les traitements répartis ;
- Analyser les concepts de missions qui utiliseraient ces charges utiles en essaims homogènes.

Je pourrais également vous parler de nombreux autres sujets comme la propulsion électrique des satellites, mais nous pourrons le faire lors du débat. **Toutefois puisque j'évoquais ce qui se passe à Bruxelles comme 4<sup>ème</sup> point de mon introduction, permettez-moi de vous signaler que ... [le tryptique Altair 2015/ Minotaur 2016/ ESA 2017]. On peut y voir là le double signe de la valeur des équipes ONERA et des projets innovants qu'elles portent, ainsi que leur capacité à piloter ou coopérer à des projets européens tant avec des académiques qu'avec des industriels. On peut par exemple citer le projet Européen Scarbo, gagné en 2017 et piloté par ADS, pour la mesure de gaz à effet de serre pour lequel la contribution de l'ONERA est majeure (développement d'un spectromètre statique miniaturisé).**

## **Je terminerai cette présentation en évoquant le rôle de l'ONERA dans la science fondamentale depuis l'espace**

L'ONERA est au cœur de missions spatiales d'intérêt scientifique (GRACE, GOCE, MICROSCOPE et bientôt GRACE follow on) qui ont pourtant une grande importance pour la défense. Plus précisément, c'est l'ONERA qui a conçu et réalisé les accéléromètres ultra sensibles qui constituent le cœur de la charge utile de ces missions, dont certaines sont américaines.

Par exemple, GOCE est une mission de géodésie qui a effectué une cartographie précise du champ de gravité terrestre et ainsi mesurer tous les facteurs qui contribuent à sa valeur. Le satellite a permis de modéliser un Géoïde (forme géométrique reflétant l'intensité du champ de gravité) de la Terre et de mesurer les anomalies locales du champ de gravité avec une précision de 1 milliGal ( $10^{-5}$  m/s<sup>2</sup>).

En ce moment, la mission MICROSCOPE continue d'accumuler de précieuses données grâce à l'instrument conçu et réalisé par l'ONERA dont l'objectif est la vérification du principe d'équivalence qui est à la base de la théorie de la relativité générale d'Albert Einstein. Avec les mesures d'ores et déjà effectuées, ce principe est vérifié avec une précision de  $10^{-14}$  près ce qui fait que MICROSCOPE est devenue la nouvelle référence mondiale. La mission continue afin d'accroître encore la précision.

Permettez-moi pour terminer d'exprimer un regret : **dans son Plan stratégique élaboré en 2001 et signé début 2002** par le ministre de la défense, l'ONERA proposait un effort de recherche sur trois axes dans le domaine spatial :

- La **définition de lanceurs spatiaux entièrement ou partiellement réutilisables** y compris des concepts pouvant utiliser en partie une propulsion aérobie ;
- La **sécurité des systèmes spatiaux** ;
- Les **nouveaux capteurs pour satellites**.

Manifestement ces points de vue n'étaient à l'époque pas partagés. Notamment notre première proposition était perçue comme sans intérêt car « *totalelement irréaliste d'un point de vue technologique* ». Manifestement Elon Musk n'a pas consulté les experts qui avaient formulé cet avis avant de créer SPACE X.

**En conclusion, nous n'avons plus en France de discours qui fasse vraiment rêver en ce qui concerne l'espace. Il faut réenchanter la recherche spatiale, avoir de l'audace, oser, travailler vite et prendre des risques.**

**Comme le disent les SAS britanniques « Who dares wins ».**