



LE MAGAZINE

DES INGÉNIEURS DE L'ARMEMENT



LE SPATIAL

N° 118 - JUIN 2019



**P05. Préface de la
MINISTRE DES ARMÉES**
Florence PARLY

P60. OBJECTIF LUNE
par Claudie HAIGNERÉ



METEOR

SUPÉRIORITÉ AÉRIENNE GARANTIE



Conçu pour assurer des missions de supériorité aérienne, le missile air-air Meteor propulsé par statoréacteur est capable d'intercepter des cibles à très longue portée avec une zone d'interception nettement supérieure à celle des missiles de même gamme actuellement en service. Acquis par la France, le Royaume-Uni, l'Allemagne, l'Italie, l'Espagne et la Suède, il est aujourd'hui intégré sur les avions de combat de dernière génération.



SECURING
THE SKIES



PROTECTING
YOUR ASSETS



MASTERING
THE SEAS



COMMANDING
THE COMBAT ZONE

ÉDITO

Jérôme de Dinechin, *Rédacteur en Chef*



Un vide bien plein

Pour la majorité des personnes, spatial rime avec rêve. De Jules Verne à « Seul sur Mars » le vide interstellaire a représenté un milieu magique et extraordinaire, où le whisky se met en boule et où l'homme pourrait aller vivre, un jour... D'ailleurs, si la moitié des IA recrutés ces dernières années choisissent l'ISAE - SupAéro comme école d'application, l'attrait du spatial n'y est pas pour rien...

Car ce milieu inhospitalier, qui commence avec la haute atmosphère, nous fait perdre nos repères habituels. Pas d'air, pas de son, pas de lumière, un froid glacial, pas de pesanteur, pas de position fixe ni d'amortissement des trajectoires. Le vide, le rien !

Il est cependant traversé par une multitude d'objets, de taille variable. Débris de comète de la taille d'un petit pois à l'époque des Perséides qui deviennent nos étoiles filantes, « pierres de lune » tombant parfois dans les champs, une partie reste piégée par l'attraction terrestre et se transforment en balles mortelles se déplaçant à 10 km/s.

Les débris spatiaux, issus de l'activité humaine viennent les compléter et on parle de cent trente millions d'objets, dont deux mille morceaux de fusées et trois mille cadavres de satellites, dont il faut tenir compte pour chaque projet de lancement et chaque trajectoire.

L'homme en effet a appris depuis soixante ans à utiliser le vide au dessus de sa tête pour le remplir d'ondes, de senseurs, de transmetteurs. D'année en année, de nouveaux services publics et privés s'y installent. Qui pourrait se passer d'internet, de communications, de localisation ou encore de télévision...

La France est depuis longtemps une puissance spatiale comme le rappelle notre Ministre en préface, et le lancement récent du CSO1 l'illustre bien. L'Espace est devenu un lieu de souveraineté et par suite, de diplomatie. Il se retrouve aujourd'hui habité par de multiples objets utiles en même temps que dangereux, et par les ambitions de nombreux acteurs.

L'espace est donc loin d'être vide, et sur le plan symbolique, comme la mère-grand du conte du chaperon rouge, nous pourrions nous dire qu'il possède de grands yeux, des grandes oreilles, et peut-être aussi de grandes dents balistiques... Est-ce pour mieux nous servir ?

Je préfère prendre le point de vue complémentaire et considérer que tous ces services imaginés au profit de l'homme et logés dans l'Espace contribuent à l'élévation du niveau de conscience des personnes, et pour reprendre une approche chère à Teilhard de Chardin, à la croissance d'une communauté de l'esprit humain qui entoure notre planète bleue, la noosphère. ☺



LE MAGAZINE DES INGÉNIEURS DE L'ARMEMENT

CAIA 16 bis, avenue Prieur de la Côte d'Or,
CS 40300 - 94114 ARCUEIL Cedex
Tél. : 01 79 86 55 13
Télécopie : 01 79 86 55 16
Site : www.caia.net
E-mail : contact@caia.net
Numéro de dépôt légal : 2265-3066

DIRECTEUR DE PUBLICATION :
Philippe HERVÉ

RÉDACTEUR EN CHEF :
Jérôme DE DINECHIN

RÉDACTEUR EN CHEF DÉLÉGUÉ :
Eva PORTIER

COMITÉ DE RÉDACTION :

Bruno BELLIER,
Patrick BELLOUARD,
Séverine BOURNAUD,
Amandine DESSALLES,
Flavien DUPUIS,
Jocelyn ESCOURROU,
Olivier-Pierre JACQUOTTE,
Daniel JOUAN, Benoît DE LAITRE
Louis LE PIVAIN, Denis PLANE,
Lucie REYMONDET, Frédéric TATOUT

CRÉDIT PHOTO :

Airbus, Armée de Terre,
R HEIDMANN / APM, Thales Alenia,
A. JEULAND / Armée de l'air, Nasa,
Cnes

ÉDITION ET RÉGIE PUBLICITAIRE :
FFE 15 rue des Sablons 75116 Paris
01 53 36 20 40 - www.ffe.fr

DIRECTEUR DE LA PUBLICITÉ :
Patrick SARFATI

CHEF DE PUBLICITÉ :
Patrick RICHARD - 01 43 57 95 22
p.richard@ffe.fr

MAQUETTE :
Matthieu ROLLAT
matthieu.rollat@gmail.com

IMPRESSION :
IMPRIMERIE CHIRAT

N° ISSN-L 2265-3066

SOMMAIRE

ÉDITORIAL	01
PRÉFACE	03
INTRODUCTION DU DOSSIER <i>par Eva Portier</i>	04
L'ESPACE POUR LA DÉFENSE OU LA DÉFENSE DE L'ESPACE ? <i>par Caroline Laurent</i>	06
BRÈVE GÉNÉALOGIE DU ROEM SPATIAL FRANÇAIS <i>par Lucie Reymondet</i>	10
L'ESPACE AU CŒUR DU SYSTÈME DE COMBAT AÉRIEN FUTUR <i>par Jean-Pascal Breton</i>	16
CSO-1 : CHRONIQUE D'UN LANCEMENT <i>par Jean-Baptiste Paing et Cyril Cassera</i>	18
D'EUROPA À COPERNICUS, UN CHEMIN VERS LE FUTUR <i>par Jean-Jacques Dordain</i>	22
LES NOUVEAUX ENJEUX DE L'EUROPE SPATIALE <i>par Géraldine Naja</i>	24
UN ESPACE DE RESSOURCES NATURELLES <i>par Elyès Jaillot</i>	26
L'EXPORT DES CAPACITÉS SATELLITAIRES EN PLEINE DYNAMIQUE <i>par Thierry Carlier</i>	28
QUAND LES FRÉQUENCES REPOUSSENT LES LIMITES <i>par Jean-Pierre Le Pesteur</i>	30
TOUR D'HORIZON SUR UNE RÉVOLUTION SPATIALE <i>par Lionel Suchet</i>	32
L'ISAE-SUPAERO, DES FORMATIONS TOURNÉES VERS LE SPATIAL <i>par Olivier Lesbre</i>	35
LA CONQUÊTE DES MILIEUX EXTRÊMES <i>par Arnaud Prost</i>	38
ÊTRE ACTEUR DU « NEW SPACE » <i>par Benoît Hancart</i>	40
MON AFFECTATION TEMPORAIRE DANS LE SPATIAL <i>par Toan Nham jr.</i>	42
UN OVNI DANS LE SPATIAL <i>par Alain Bories</i>	44
L'AVÈNEMENT DU PLASMIQUE À L'ÈRE DU SATELLITE TOUT-ÉLECTRIQUE <i>par Hervé Bouazziz</i>	48
ASSURER LES SATELLITES ? <i>par Guillaume de Dinechin</i>	50
PRÉVOIR LE TEMPS ET SURVEILLER LE CLIMAT : UN MÊME DÉFI ? <i>par Jean-Christophe Gros</i>	52
PRENDRE DE LA HAUTEUR POUR SONDER LES PROFONDEURS <i>par Bruno Frachon</i>	55
UN JOUR SANS ESPACE : GPS, SATCOM, SCIENCE <i>par Denis Plane</i>	58
L'ONERA ET L'ESPACE <i>par Bruno Sainjon</i>	61
LA DYNAMIQUE TERRESTRE VUE DEPUIS L'ESPACE <i>par Jean-Philippe Avouac</i>	64
OBJECTIF LUNE <i>par Claudie Haigneré</i>	67
LES ENJEUX DU PROJET MARTIEN <i>Entretien avec Richard Heidmann</i>	69
L'AGENCE DE L'INNOVATION DE DÉFENSE <i>Entretien avec Jean Meyrat et Alexandre Barouh</i>	71
ZODIAC DATA SYSTEMS : L'INNOVATION AU SERVICE DES SOLUTIONS SOL <i>par Jean-Marie Bétermier</i>	74
LA RUPTURE AU SERVICE DES MARCHÉS HISTORIQUES <i>par Franck Poirier</i>	76
LANCEURS : L'EUROPE DOIT REPRENDRE LA MAIN <i>par Xavier Lebacqz</i>	78
MOT DU PRÉSIDENT	80
COUP DE Foudre POUR LE PARIS E-PRIX	81
ENTRETIEN PRESQUE FICTIF AVEC UN PERSONNAGE PRESQUE RÉEL <i>par François Dudeck</i>	82
LES INGÉNIEURS DE L'ARMEMENT, 50 ANS D'INNOVATIONS	84
GALA DE L'ARMEMENT LE VENDREDI 4 OCTOBRE	85
CAMARADES ÉCRIVAINS	86
LU POUR VOUS	86
LU AU JO	87
NOMINATIONS DGA - CARNET PROFESSIONNEL	88

PRÉFACE

Florence Parly, *Ministre des armées*



« *A new frontier* ». C'est ainsi que John Fitzgerald Kennedy marque les esprits lors de son discours d'acceptation de son investiture à la course présidentielle en 1960, désignant l'espace comme une « nouvelle frontière ». Le nouvel horizon de développement du savoir humain est nommé, la course à l'espace est lancée.

A l'image de nombreux progrès dans l'histoire des sciences et des techniques, ce sont d'abord les applications militaires qui ont tiré le développement de l'industrie spatiale. Si nous sommes aujourd'hui l'un des rares pays au monde à maîtriser toute la palette des technologies de ce secteur hautement stratégique, c'est en premier lieu parce que le général de Gaulle a souhaité doter la France d'une force de dissuasion, nécessaire au plein exercice de sa souveraineté. Dans cette aventure où notre pays fait figure de pionnier, les ingénieurs de l'armement ont joué un rôle de premier plan.

Aujourd'hui l'irruption des méthodes d'innovation de rupture dans le secteur spatial – ce que l'on appelle

communément NewSpace – remet profondément en cause ce paradigme. Ce sont désormais les acteurs privés, et non plus seulement les Etats, qui tirent le développement économique de l'industrie spatiale, désormais plus flexible, plus innovante, plus connectée aux différents segments de l'économie. Ce virage crucial pour le développement de nos sociétés, les Etats-Unis et la Chine en ont pris depuis longtemps la mesure. L'émergence-éclair de Space X, que personne n'attendait et qui s'est imposé en cinq ans comme le concurrent principal d'Arianespace, le démontre. Space X n'est que l'exemple le plus visible d'un phénomène de fond : tout un écosystème d'entreprises, de start-up, de laboratoires et de pôles d'innovation se constitue progressivement autour de la production et de l'exploitation des données issues de l'espace. De ce bouleversement majeur de nos schémas économiques traditionnels, l'Europe ne saurait rester à l'écart.

Car l'aventure spatiale est probablement la plus européenne des grandes entreprises industrielles auxquelles la France ait pris part. Si la maîtrise du ciel et de l'espace est une tradition nationale hautement enracinée dans l'excellence de nos savoir-faire, ce n'est qu'au prix d'une collaboration permanente avec nos grands partenaires européens : des réalisations technologiques aussi ambitieuses que le lanceur Ariane ou les satellites Galileo et Copernicus n'auraient jamais pu voir le jour sans coopération. Le premier tir réussi d'Ariane a eu lieu il y a exactement quarante ans, en 1979, l'année même où les premières élections du Parlement européen au suffrage universel se sont tenues. C'est une coïncidence. C'est aussi un symbole.

Ne soyons pas naïfs, l'espace n'est pas seulement un formidable champ d'opportunités scientifiques ou économiques. C'est aussi un terrain potentiel de confrontation où les grandes puissances n'hésitent pas à défendre leurs propres intérêts. Dans cette entreprise palpitante mais exigeante, où tout ou presque reste à inventer, j'attends des ingénieurs de l'armement qu'ils continuent de veiller aux intérêts fondamentaux de la France, à commencer par son indépendance et sa prospérité. Je sais qu'ils pourront s'appuyer sur leurs capacités d'innovation et leur maîtrise des systèmes complexes, autant d'atouts dont ils font profiter la France depuis plus de cinquante ans. ☺



INTRODUCTION AU DOSSIER

DE LA NOUVELLE FRONTIÈRE À LA FIN DES FRONTIÈRES

Eva Portier, IGA

Le début de l'année 2019 aura été marqué par la première « photographie » d'un trou noir. Au-delà de la satisfaction des scientifiques, rassurés par cette preuve expérimentale de la validité de certaines équations de la relativité générale, cette image a fait communier l'humanité, galvanisée par l'aspiration commune verbalisée par Tsiolkovski : « *la Terre est le berceau de l'Humanité, mais on ne passe pas sa vie dans un berceau* ». Avec cette image « réelle » d'un trou noir, l'ultime frontière spatiale était-elle atteinte ? Eteignez les lumières, tir terminé ?

Passé à la postérité, le discours de J. F. Kennedy de 1960 est resté fondateur de la conquête spatiale moderne : « *But I tell you the New Frontier is here, whether we seek it or not. Beyond that frontier are the uncharted areas of science and space, unsolved problems of peace and war, unconquered pockets of ignorance and prejudice, unanswered questions of poverty and surplus. It would be easier to shrink back from that frontier, to look to the safe mediocrity of the past, to be lulled by good intentions and high rhetoric.* »

L'Espace de Kennedy était pourtant un univers taillé comme un jardin à la française : bien délimité.

Après l'âge d'or de la conquête spatiale marqué par cette allocution, l'aventure spatiale a souffert d'un certain désintérêt du public pendant des années. Pendant cette période de glaciation, le domaine a été ballotté entre la mise en sommeil de la conquête de la Lune dans les années 70, la fin de la « guerre des étoiles » dans les années 80, et « l'échec des constellations¹ » des années 2000.

A l'instar des extinctions massives, ces événements ont conduit à faire émerger de nouvelles espèces, à développer de nouvelles relations entre acteurs – survivants de l'ancien monde ou nouveaux genres poussés par une pression quasi Darwinienne, et ainsi, à créer de nouveaux éco-systèmes. En sa qualité de nouvelle frontière, l'Espace a gommé toutes les frontières.

Patchwork de cette nouvelle donne.

O3B et One Web symbolisent le dernier coup de pied en date, massif, donné au monde bien établi des opérateurs traditionnels de satellites.

Elon Musk est désormais plus connu pour Space X que pour PayPal. Jeff Bezos, père d'Amazon, vient de présenter son alunisseur.

1 : Gel du projet Skybridge (Alcatel) et « faillites » d'Iridium et Globalstar en 2002

En Europe, Ariane 6 a fait table rase (enfin, pas tout à fait) des bases historiques d'Ariane.

Réservés à des « happy few » il y a quelques années, les satellites d'observation fleurissent aujourd'hui comme des champignons après la pluie, générant nombre de problématiques réglementaires et d'interrogations.

En 1967, le traité de l'Espace se voulait consacrer le libre accès à l'espace. La création de l'ESA reposait sur l'intention de renforcer la coopération européenne à des fins exclusivement pacifiques. La coopération autour de la station internationale symbolisait, dans les années 80, la volonté commune et affichée des « deux blocs » de ne pas céder à l'escalade : la paix, l'amitié des peuples et la coopération étaient de mise sur la scène publique internationale au-delà de la ligne de Karman²... En 2007, la Chine détruisait un satellite en orbite avec un missile. En 2015, le SPACE Act américain égratignait le traité de l'Espace. Aujourd'hui, la militarisation de l'Espace n'est plus taboue, y compris en France et en Europe. Elle est même une réalité : ne pas l'admettre serait au mieux de la naïveté, au pire de l'inconscience.

De pair, les progrès technologiques rendent poreuse la limite entre l'espace extra et endo-atmosphérique : couplé avec la militarisation, c'est un nouveau champ de bataille qui se dessine.

Dans ce monde en révolution, tous les dinosaures ne sont pas morts ... et fort heureusement : sans la Nasa, Space X serait sans doute toujours une douce lubie d'un riche magnat de la nouvelle économie. L'historique SES a racheté O3B en 2016. Les multiples start-up du domaine ont et auront durablement besoin des « grands maîtres d'œuvre », ne serait-ce que parce que sans colonne vertébrale solide, un projet « spatial » est voué à s'effondrer.

L'avenir s'annonce donc bien incertain, d'autant que la réalité technique, technologique, politique présente une certaine constance : la fumée qui s'est échappée à l'horizon lors des derniers tests de la capsule Crew Dragon de Space X a rappelé cruellement que les vols habités n'étaient pas une promenade de santé. La Cour des comptes a jeté un pavé dans la mare d'Ariane 6. Le projet Galileo, étendard d'une nouvelle approche de la construction d'une Europe dépassant une coopération économique, a-t-il convaincu le plus grand nombre ? Qui s'aventurerait à prédire ce qui émergera des forces aujourd'hui en présence ?

Les ingénieurs de l'Armement ont historiquement joué un rôle éminent dans la construction des instruments de la politique spatiale française et européenne. C'est pour l'Espace que nombre d'entre nous ont rejoint ce corps. Lors d'une année Bourget, et alors que le magazine des ingénieurs de l'armement – de mémoire de CAIA – ne s'était pas penché sur le sujet, il nous est donc apparu essentiel de mettre en lumière, forcément de manière impressionniste, ce nouveau paysage spatial mondial : s'expriment dans ce numéro, en leur nom, de nombreuses personnalités spécialistes des différentes facettes de ce domaine. ☺



Eva Portier, IGA

Eva Portier, X95 et école des Mines, a été directrice du programme MUSIS-CSO, conseillère en charge notamment des affaires spatiales au cabinet du ministre chargé de la recherche et au cabinet du Premier ministre et directrice financière de STARSEM. Elle est, depuis 2016, architecte de préparation des systèmes futurs « combat-contact » (domaines terrestre, naval et aérien) à la DGA. Elle copilote également, depuis janvier 2018, le projet SCAF.

2 : Limite entre l'atmosphère terrestre et l'espace, pour la Fédération aéronautique internationale (~100km).

L'ESPACE POUR LA DÉFENSE OU LA DÉFENSE DE L'ESPACE ?

ENTRETIEN AVEC CAROLINE LAURENT, IGA, DIRECTRICE DE LA STRATÉGIE DE LA DGA DEPUIS 2014*



1984 : SYRACUSE IA, premier satellite français à usage militaire. Depuis donc bientôt 35 ans, la France utilise l'espace à des fins militaires. Si les principes régissant les activités humaines dans l'espace extra-atmosphérique sont inscrits dans plusieurs textes internationaux, force est de constater qu'aujourd'hui l'espace devient un lieu de confrontations. L'enjeu : être en mesure de répondre en cas d'agression, afin de défendre nos moyens spatiaux d'observation, de télécommunications et d'écoute.

La CAIA : La destruction en orbite par l'Inde, le 27 mars dernier, de l'un de ses satellites en basse altitude (300 km environ) a remis deux menaces sous les feux de la rampe : les armes anti-satellites et la prolifération des débris. Comment intègre-t-on ces menaces dans la préparation des systèmes spatiaux futurs ?

Caroline Laurent : La destruction de satellites est une menace peu crédible : une grande puissance spatiale qui a des moyens dans l'espace ne peut pas se permettre de prendre le risque de détruire ou de polluer les orbites dont elle est dépendante.

La Chine a détruit un de ses satellites, l'Inde aussi mais en orbite plus basse afin que les débris retombent assez rapidement dans l'atmosphère. La vraie menace c'est le brouillage, l'aveuglement ou les armes électroniques. Il faut qu'on se protège contre ces armes, éventuellement qu'on se prépare à en avoir nous-mêmes. La France pourrait se donner comme objectif d'atteindre un niveau dissuasif mais sans forcément être destructeur.

Naturellement, cette dissuasion doit rester conforme aux réglementations et accords internationaux, et nationaux telle que la loi sur les opérations spatiales. Cela reste un subtil équilibre à construire.

La CAIA : La SSA (Space Situational Awareness) est sur toutes les lèvres et concerne autant le civil que le militaire. Le radar Graves est en cours de rénovation pour durer jusqu'à 2030.

Quel système prendra la relève pour garantir une autonomie française ou européenne d'appréciation ? S'appuiera-t-on sur un système au sol ? Un système en orbite ?

C.L. : Il faut rappeler que le radar Graves est à la base un démonstrateur devenu opérationnel en 2007. On ne peut détecter que des objets en orbite basse, mais pas tous, et donc pas les satellites géostationnaires, d'où une dépendance vis-à-vis des Américains qui nous fournissent les données de leurs moyens de SSA. En France, le Cnes reçoit les bulletins d'orbite et entretient une situation spatiale mais avec des moyens plus limités. Le fait d'avoir un seul radar em-

pêche de faire simultanément une veille permanente et d'opportunité, qu'on pourrait faire avec deux radars. Au-delà de Graves, il faut réfléchir en termes de besoin capacitaire, et commencer par utiliser les moyens aujourd'hui disponibles.

Dans cette perspective, moyens sol et satellites sont complémentaires. Disposer d'un système en orbite pour surveiller l'espace n'est pas forcément une nécessité. Il est important de miser sur des capteurs de nature différente (radar, optique), permettant surveillance et identification. Sur ces moyens de surveillance et d'identification, nous privilégions à ce stade un axe franco-allemand mais avec l'espoir de l'étendre progressivement à d'autres partenaires européens. Par contre, construire un C2 européen aurait du sens, et il y a des projets en ce sens actuellement à l'initiative de l'Italie. Au sein de la coopération structurée permanente, une feuille de route peut être construite, à la fois sur la surveillance pour peser face aux Américains, ou dans le domaine de l'alerte. Cela est d'ailleurs une nécessité car, pour la SSA, aucun pays ne peut construire une véritable capacité complète seul.

(*) Elle sera directrice des systèmes orbitaux du CNES à compter du 1er septembre 2019



Syracuse IV, système de communications militaires impliquant 2 satellites de 3,5t chacun à lancer en 2021 ; notifié en 2015 par la DGA à TAS et Airbus Defence & Space

La CAIA : On se prépare outre Atlantique à la mise en place d'une Space Force pour défendre les intérêts américains dans l'espace. Quelle place pour une autonomie française ou européenne ?

C.L. : Des réflexions sont en cours sur le niveau d'indépendance souhaité vis-à-vis des Américains. Dans l'espace, il n'y a qu'à l'échelle de l'Europe que l'on peut se doter des moyens d'être autonome. L'idée n'est pas de s'affranchir des Américains, mais de pouvoir basculer d'une capacité à une autre afin de garantir une résilience, comme avec Galileo vis-à-vis du GPS.

Une des particularités du spatial est qu'il y a plus d'applications dans le civil que dans le militaire. Construire une BITD européenne est donc un véritable enjeu, mais l'espace s'y prête bien. En effet, si nous avons des grands maîtres d'œuvre, tels que TAS et ADS qui cohabitent en France, et désormais OHB en Allemagne qui prend de l'ampleur, ces groupes essaient au sein de toute la chaîne

de sous-traitance, qui est plus largement répartie en Europe. L'espace est donc un candidat de choix pour la construction de projets européens.

Concernant la Space Force, il ne faut pas oublier que si l'espace devient un milieu de confrontations, il n'est pas une fin en soi. En France, on devrait renforcer le Commandement Interarmées de l'Espace, en le plaçant dans la chaîne de responsabilité de l'Armée de l'Air. Envoyer des combattants reste pour l'instant du domaine de l'imaginaire : le but pour la France est bien de défendre ses satellites.

La résilience des moyens spatiaux c'est aussi de ne pas tout miser sur l'espace. Les marins par exemple sont très attachés à la HF ou utilisent aussi la navigation inertielle. On peut également augmenter les possibles, comme par exemple en dotant le Rafale F4 de moyens de communication par satellite protégés. Nous n'avons toutefois pas la même dépendance que les américains et donc pas les mêmes enjeux.

La CAIA : Les armées françaises renouvellent en ce moment leurs capacités spatiales : observation (CSO), écoute (CERES) et communications (Syracuse IV). Envisage-t-on des capacités spatiales militaires de rupture françaises et/ou européennes ?

C.L. : Dans le domaine spatial on a tendance à faire des Big Bangs. Concernant le post-CERES et le post-CSO, on pense à une logique incrémentale. Il faut profiter des pas technologiques en complément de l'existant afin de définir des capacités en constante amélioration. Les constellations ont un intérêt, il y a des choses à faire. Toutefois, on ne remplacera probablement pas nos gros satellites par plusieurs petits (ou alors pas au même prix), en revanche on pourra apporter des compléments, à l'image des standards du Rafale. On souhaite utiliser des moyens complémentaires et bénéficier de la miniaturisation pour augmenter ces performances.



Radar Graves, système français de détection de satellites évoluant en orbite terrestre basse développé par l'ONERA sous contrat DGA

Le modèle de l'écoute est intéressant : par quelques financements ciblés sur des briques technologiques, on peut envisager d'ajouter des charges utiles d'écoute AIS sur les Cubesat d'Argos next et ainsi bénéficier d'une vraie capacité de surveillance maritime, en complément de CERES. Il y a aussi des compléments à faire au sol (algorithmes d'intelligence artificielle, big data...) que l'on peut implémenter avec un rythme plus soutenu que les lancements.

La CAIA : Et des constellations de satellites pour gagner en résilience et/ou atteindre des théâtres émergents (Arctique, Pacifique) ?

C.L. : Si on était très riches comme les américains on pourrait commencer à faire du défilant, des constellations qui permettent une meilleure couverture dans le grand nord... Nous on s'appuie sur des opérateurs commerciaux (conventions ASTEL-S passées par la DIRISI) en complément de nos moyens SATCOM.

Concernant des constellations souveraines, nous avons prévu d'étudier la question, mais in fine on se dira que c'est plus cher et

ça fait quand même beaucoup de satellites pour couvrir la Terre entière alors que finalement nos zones d'intérêt sont localisées sur un tiers. Techniquement c'est faisable, mais au regard des investissements nécessaires ce serait une capacité européenne comme Galileo. Aujourd'hui on est plutôt dans la mise en commun de capacités nationales, comme pour la surveillance de l'espace, même si dans le consortium initial des pays participant au projet européen SST (*Space Surveillance and Tracking*), seulement deux pays sur cinq ont vraiment des capacités.

La CAIA : L'Europe, chance ou menace ? Est-ce que ça peut permettre de faire le poids par rapport aux américains ?

C.L. : Je suis sûre qu'on est à leur niveau, nos industriels gagnent des compétitions (*Oneweb* pour Airbus, *Iridium* pour Thales), mais nous sommes pénalisés par des volumes de production inférieurs. Pour le post-CSO, on sait qu'augmenter considérablement la taille du miroir serait très risqué technologiquement. Dans les domaines où on est très bon (aéronautique de combat, espace), coopérer c'est forcément accepter plus ou moins des dupli-

cations de compétences chez les autres, voire à la fin des dépendances, mais il n'y a que l'Europe qui peut mettre les moyens.

Dans le domaine de la défense, les petits pays qui n'ont pas d'industrie spatiale peuvent mettre en avant quelques PME qui contribueront à tous les programmes, européens mais aussi nationaux. Un aspect particulier du spatial est qu'il y a beaucoup plus de programmes civils que militaires : la consolidation à l'échelle européenne existe déjà. Même si on finance un satellite 100% français, il y a de l'argent qui va partout en Europe. C'est ce que cherche à construire le Fonds Européen de Défense, sur tous les domaines : bâtir des centres d'excellence un peu partout en Europe.

La CAIA : Space X représente un changement de stratégie économique

C.L. : En effet, Space X marque un changement dans les méthodes de développement, dans la gestion des marges de dimensionnement, et dans les stratégies industrielles et économiques dans le milieu spatial, notamment avec le caractère réutilisable. En Europe, cela va conduire à accélérer le calendrier post-Ariane 6. Face à Space X, il faut faire moins cher et peut-être réutilisable, par conséquent on réduit aussi la synergie avec la dissuasion (propulsion exclusivement liquide pour le réutilisable). En termes de maintien de compétence c'est un véritable enjeu : si on réutilise, on fabrique moins de lanceurs et on prend des risques, on perd des compétences, et in fine c'est plus cher. Le modèle économique change radicalement, la réflexion sur le post-Ariane 6 démarre. ☺

Propos recueillis par Benoît de Laître et Amandine Dessalles, avec le soutien de Lucie Reymondet

ROXEL

LA PROPULSION PERFORMANTE POUR LES MISSILES ET LES ROQUETTES

EXPERTISE

Conception, développement et fabrication de matériaux énergétiques performants et compétitifs.

INNOVATION

Pionnier des technologies avancées dans les procédés de fabrication de matériaux énergétiques pour moteurs de missiles.

Compétences déployées au service des marchés de roquettes.

EXCELLENCE INDUSTRIELLE

Mise en place de méthodes inspirées des grands standards industriels pour l'accroissement de notre performance et l'amélioration de la qualité.

ROQUETTES D'ARTILLERIE

Pionnier des technologies avancées pour démantèlement, respectueuses de l'environnement.

DÉMANTÈLEMENT



Roxel
Propulsion systems

Retrouvez nous sur
www.roxelgroup.com



© Roxel / Crédits photos : Roxel, Mesko

BRÈVE GÉNÉALOGIE DU ROEM SPATIAL FRANÇAIS

Lucie Reymondet, IA

Les racines du ROEM¹ spatial français remontent aux années 90 avec le tristement célèbre microsatellite CERISE : celui-ci entra dans l'Histoire un jour de juillet 1996 lorsqu'il fut le premier cas répertorié de collision entre deux objets spatiaux. La queue de CERISE (son mât de stabilisation) fut tranchée net par un débris de fusée Ariane 1 qui tournait autour de la Terre depuis le lancement de SPOT1 en 1986...



Vue d'artiste des satellites CERES en formation : un léger air de famille avec ELISA ... (en bas à droite)

Un tir fratricide en somme. La probabilité qu'un tel événement se produise était extrêmement faible mais pas nulle : ça laisse songeur quand on sait à quel rythme le nombre d'objets en orbite basse (<2000km d'altitude) a encore progressé depuis 1996.

La mise en œuvre des écoutes de CERISE, à la charge du CELAR², devait permettre de caractériser l'environnement radioélectrique terrestre tel que vu depuis une orbite basse, en effectuant des mesures

avec un instrument spatialisé. En effet, l'objectif de ce démonstrateur était bien exploratoire : en 1995 il n'existe pas en France de modèle ou de base de données caractérisant cet environnement, qui dépend de surcroît de l'heure locale³, de la position du capteur sur son orbite et de son orientation. Si des capteurs embarqués sur des bateaux ou des avions permettent eux aussi de caractériser des émetteurs radar et telecom, leurs zones d'intervention sont limitées (zones côtières pour les bateaux, zones de survol autori-

sé pour les avions), à l'inverse du capteur spatial. Or la connaissance de l'environnement était une brique indispensable pour pouvoir dimensionner un futur système opérationnel de ROEM spatial.

Vingt-cinq ans plus tard, la réalisation de ce démonstrateur fait figure de précurseur : un micro satellite à faible coût de réalisation (utilisation d'une plateforme civile), faible coût de lancement (mutualisé avec HELIOS 1A), et offrant un retour d'expérience rapide grâce à une faible

1 : ROEM : Renseignement d'Origine Electromagnétique

2 : Centre d'Electronique de l'Armement

3 : Heure locale : heure à la surface de la Terre à la verticale du satellite à un instant donné

durée de développement. Le satellite CLEMENTINE succédera à CERISE en 1999, covoiturant cette fois avec HELIOS 1B, pour compléter la connaissance de cet environnement à des fréquences plus basses que celles scrutées par CERISE.

Ces deux démonstrateurs mono-satellite ont pavé le chemin pour les démonstrateurs multi-satellites qui devaient leur succéder : ESSAIM et ELISA. L'objectif d'ESSAIM était de démontrer en environnement réel la faisabilité de caractériser et localiser des émetteurs telecom (bandes fréquentielles « basses ») par un système comprenant quatre satellites en formation et mettant en œuvre le principe de localisation par triangulation. ESSAIM, comme ses prédécesseurs, utilise des plateformes issues du civil (plateforme Myriade du Cnes). L'organisation qui est mise en place pour le développer préfigure déjà celle qui se verra confier le développement du futur système opérationnel CERES... Déjà, Astrium est responsable système, Thales Systèmes Aéroportés responsable de la charge utile et du segment sol utilisateur, et le Cnes opérateur du centre de contrôle en orbite des satellites.

Lancé fin 2004, ESSAIM répondra pleinement aux attentes et même au-delà : initialement prévus pour durer trois ans, les satellites ne seront désorbités qu'en 2010. L'exploitation des écoutes réalisées démontre qu'on est capable, en environnement réel, de déterminer

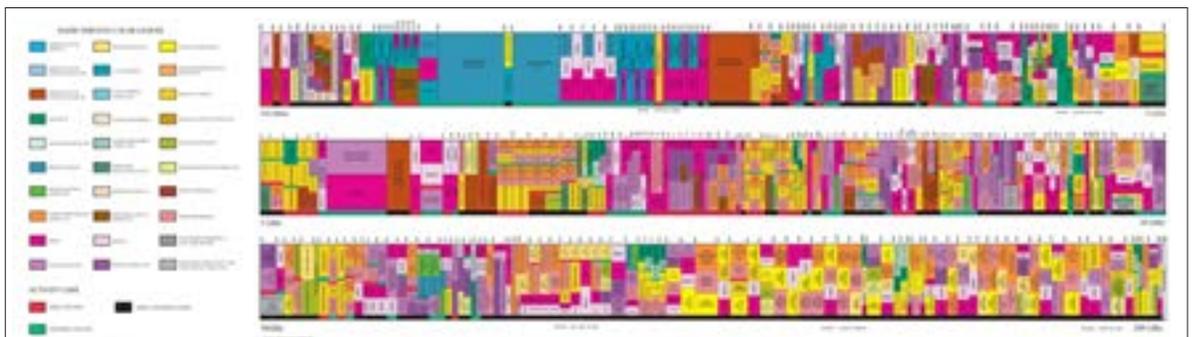
les caractéristiques des signaux perçus à travers l'atmosphère et d'en localiser la source à partir de capteurs à plus de 600km et se déplaçant à plusieurs kilomètres par... seconde !

Mais ESSAIM était limité par ses capacités embarquées de traitement du signal : les satellites effectuaient diligemment les écoutes programmées et retransmettaient les données « brutes » enregistrées au sol. C'est donc au sol qu'était réalisée l'exploitation du signal permettant d'identifier, dans le fatras relevé par les capteurs, les signaux d'intérêt qui alimenteraient, in fine, le renseignement. Car la surface de la Terre est un brouhaha électromagnétique, et si le morcèlement du spectre rendait le paysage complexe à l'époque d'ESSAIM, ça promet d'être un véritable casse-tête pour CERES demain. Pour exemple, à 700 km d'altitude, un lobe d'antenne avec une ouverture de 5° balaierait une zone à la surface de la Terre de 60 km de diamètre : cela peut comprendre une multitude d'émetteurs, et potentiellement aucun d'intérêt ROEM ! Or le volume mémoire d'un microsatellite ainsi que le canal de vidage vers les antennes de réception au sol sont limités. On en vient rapidement à la conclusion qu'un système opérationnel ne saurait se passer de traitement du signal à bord, pour faire le « tri » entre données d'intérêt et bruit.

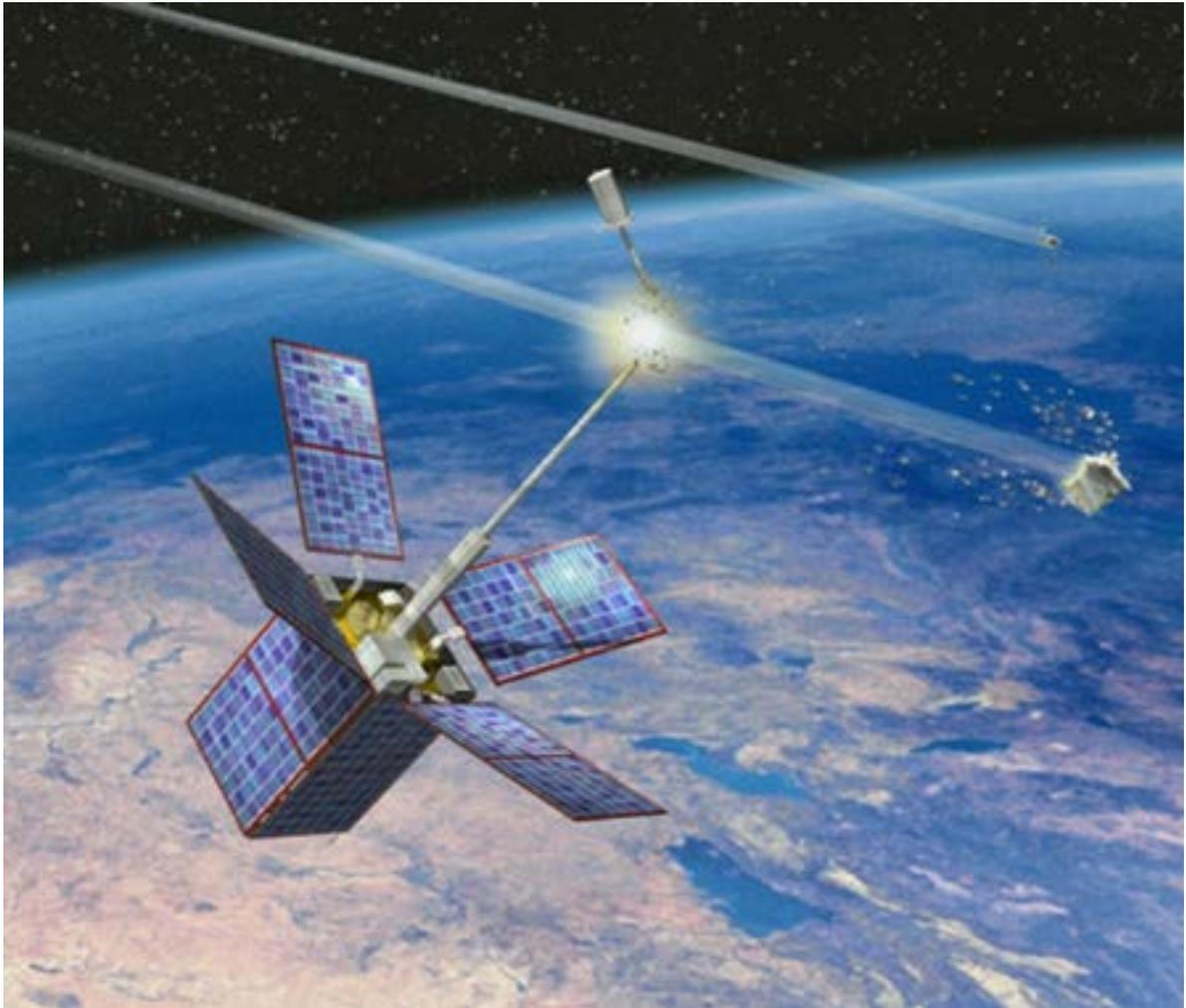
Ce fut donc naturellement la prochaine brique technologique à tester. Fin 2011 fut lancé le démon-

strateur ELISA, également basé sur une plateforme Myriade. Outre de démontrer la faisabilité d'une exploitation automatisée et en orbite des signaux, ELISA avait pour but d'écouter des bandes fréquentielles plus élevées qu'ESSAIM. Là où ESSAIM ciblait essentiellement des émetteurs telecom, ELISA vise principalement des émetteurs radar.

ELISA, dont les écoutes sont programmées depuis le site de DGA-MI à Bruz, a permis à la DGA d'effectuer des expérimentations en vue de spécifier le futur système opérationnel CERES. Au jour où j'écris, ELISA a encore de beaux jours devant lui, avec déjà 7 années de bons et loyaux services, alors que sa durée de vie nominale au lancement en 2012 était de 3 ans. Lorsque la DGA, par ses expérimentations techniques, avait démontré les performances du système et que les satellites ELISA ne semblaient pas vouloir prendre leur retraite, les opérationnels (la DRM puis progressivement les centres de renseignement des armées) ont pris en main le démonstrateur pour entamer une phase d'utilisation dite pré-opérationnelle. ELISA a en outre permis de débloquent un autre verrou technologique pour le ROEM spatial puisque ses quatre satellites sont agiles : leur orientation (tangage, roulis, lacet) peut être ajustée pour capter des émissions dans des directions variables, ce qui fait une différence considérable car les cibles des écoutes sont, elles aussi, agiles.



Allocation de fréquences aux USA (extrait sur la bande 300MHz - 300GHz). Chaque couleur correspond à un type d'utilisation, par exemple : radios aéronautiques & maritimes, téléphonie mobile, radio et TV, radars, signaux GPS...(source : nasa.gov)



Vue d'artiste de l'impact entre CERISE et le débris d'Ariane 1 en 1996 (source : Cnes.fr)

Nous voici maintenant en 2013 - 2014 : on commence à spécifier CERES, le futur système opérationnel. La DGA, grâce aux démonstrateurs qu'elle a lancés et avec lesquels elle a mené des expérimentations, a plusieurs briques technologiques solides à sa disposition. En parallèle, l'utilisation pré-opérationnelle des démonstrateurs a permis aux forces de préciser leur besoin d'un futur système opérationnel. Rappelons que 20 ans auparavant, le ROEM spatial français n'existait ni technologiquement ni dans les scénarios d'emploi militaires...

CERES, c'est en quelque sorte un best of d'ESSAIM et d'ELISA : un système de ROEM spatial multi-satellites, de caractérisation et de localisation d'émetteurs tele-

com et radar. Les méthodes de traitement du signal, embarquées et au sol, s'appuient sur un environnement bien mieux connu notamment grâce aux générations de démonstrateurs successifs. Prévu d'être lancé sous deux ans, CERES sera un atout considérable pour le renseignement français et une exclusivité en Europe.

Mais avant même sa mise en orbite, il faut déjà penser à son remplacement... Or le paysage technologique et économique a bien changé depuis le lancement du programme CERES. New space, tensions internationales en orbite, miniaturisation des satellites, multiplication des objets (satellites et débris) en orbite, démocratisation de l'accès à l'espace... Autant

de variables à prendre en compte pour l'architecture du post-CERES, mais aussi pour la prochaine génération de satellites d'observation et télécommunications militaires. Cela ouvre tout un champ d'innovation et d'exploration, donnant ainsi une belle opportunité pour les futurs ingénieurs passionnés de spatial avec la tête dans les étoiles. ☺



Lucie REYMONDET, /A

Lucie Reymondet occupe la fonction d'architecte bord du programme CERES. Elle a rejoint la DGA en 2016 après un *Master of Science* en Aéronautique & Astronautique au MIT, et a fait ses armes dans le ROEM spatial comme chargé d'expertise sur ELISA et CERES.

DÉCOUVREZ NOTRE OFFRE* RÉSERVÉE

à la Confédération Amicale des Ingénieurs de l'Armement

A l'ouverture d'un compte
bancaire SG/BFM

40 € offerts

Pour vous accompagner
dans votre projet immobilier

Un taux + Des Frais de
avantageux dossier offerts

CONTACTEZ-NOUS

Du lundi au samedi de 9h à 18h

0 821 222 500 Service 24h/24h
7 jours sur 7

Un Conseiller vous accueille
dans chaque agence Société Générale.

PARIS LOURMEL – 106 av Félix Faure – 75015 – Paris – 01 45 54 85 01



**BANQUE FRANÇAISE
MUTUALISTE**

LA BANQUE DE CHAQUE AGENT DU SECTEUR PUBLIC

RETROUVEZ-NOUS SUR BFM.FR ET CHEZ NOTRE PARTENAIRE



**SOCIÉTÉ
GÉNÉRALE**

* Cette offre est non cumulable avec les autres avantages promotionnels SG ou BFM dans les agences participant à l'opération (liste ci-dessus). (1) Offre non cumulable, valable du au , réservée aux nouveaux clients majeurs, pour l'ouverture d'un premier compte bancaire Société Générale (sous réserve d'acceptation de Société Générale). (2) Crédit consenti par et sous réserve de l'acceptation de votre dossier par Société Générale. Pour le financement d'une opération relevant des articles L. 313-1 et suivants du Code de la consommation, l'emprunteur dispose d'un délai de réflexion de 30 jours avant d'accepter l'offre de prêt. La vente immobilière ou la construction est subordonnée à l'obtention du prêt nécessaire à son financement. En cas de non obtention du prêt immobilier par le demandeur, le vendeur est tenu de lui rembourser les sommes versées. Frais de dossier variant suivant le type de prêt. (3) Voir conditions et montant de la réduction en agence Société Générale.
Banque Française Mutualiste – Société anonyme coopérative de banque au capital de 114 154 973 €, RCS Paris 826 127 748, Intermédiaire en assurances (ORIAS n°08 043 372). Siège Social : 56-60, rue de la Glacière – 75013 Paris.
Société Générale – S.A. au capital de 1 000 000 000 €, RCS Paris 512 130 232, Intermédiaire en assurances (ORIAS n° 07 002 891). Siège social : 29, boulevard Haussmann – 75008 Paris.



Direction des Applications Militaires

60 ans d'excellence au service

de la dissuasion nucléaire française

ENGAGEMENT – INTEGRITE – AMBITION – ESPRIT D'EQUIPE – ACCOMPLISSEMENT INDIVIDUEL

REJOIGNEZ-NOUS :

Venez participer à de grands projets et relever
des défis scientifiques et techniques majeurs.

www-dam.cea.fr

ACTIA®



DESIGN & INTEGRATION
de solutions SATCOM militaires



satcom.sales@actiatelecom.fr

www.ACTIA.com

LA TECHNOLOGIE AU SERVICE

DE L'INNOVATION ET LA PERFORMANCE



Jacques Desclaux

Dans un milieu aussi compétitif que celui de l'armement, Roxel se munit de procédés innovants afin de renforcer sa performance et d'optimiser son cycle de production, dans le respect de son environnement.

Jacques Desclaux, Président Exécutif du groupe et PDG de la filiale française, nous en dit plus dans cet entretien.

Quels sont les principaux axes de votre plan pluriannuel ?

Dans une optique de recherche de performance, notre objectif est d'axer nos efforts sur la maîtrise de nos procédés. Parallèlement à la robotisation de certains procédés, nous avons déployé un outil de Manufacturing Execution System (MES) qui permet d'avoir un relevé automatique des paramètres de fabrication. À cet effet, il relie sur l'ensemble des sites les moyens de production et amène à effectuer un traitement quotidien des données, pour détecter les anomalies. Ces données déterminent la conformité de nos produits aux normes requises et nous permettent de surveiller les procédés en temps réel pour réagir rapidement et traiter ou corriger d'éventuelles dérives méthode (QRQC) ou Quick Reaction Quality Control. Dès lors, l'ingénieur méthodiste peut ajuster son instruction de travail de départ, et ainsi limiter les dérogations, qui pénalisent le cycle de production. Dans cette lignée, nous avons déployé des systèmes de code à barres dans nos ateliers, qui servent à optimiser le processus d'identification des pièces. Nous continuons nos recherches pour innover en termes de procédés. Concernant l'usine 4.0, et donc l'intégration d'actions (IoT) Internet of the Things, c'est un sujet en cours d'étude.

L'innovation est un vecteur de performance. Comment appréhendez-vous cela ?

L'innovation est mon cheval de bataille favori, car elle sert un double objectif : la compétitivité et l'avance par rapport aux transferts de technologies que nous sommes amenés à effectuer dans les pays où nos marchés s'agrandissent. C'est le cas de l'Inde, où la politique du "Make in India" couvre en plus de la production, le développement et la qualification. L'innovation concerne aussi bien le produit (nouvelles matières énergétiques, plus performantes et à coûts plus réduits) que les procédés (instauration de nouveaux procédés), comme le

mélange par résonance acoustique inspiré de l'industrie pharmaceutique. Ce procédé nous permettra de réduire drastiquement les cycles de production de certains produits, à seulement quelques heures au lieu d'un mois.

Vous misez également sur l'optimisation de votre outil industriel. Comment cela se traduit-il ?

Depuis quatre ans, nous travaillons sur la modernisation de notre outil industriel, sur tous nos sites. Le but est de réduire et de concentrer notre outil industriel pour l'adapter à notre production et améliorer notre compétitivité, mais aussi de le moderniser (robotisation, commande à distance, fabrication additive, etc...). Grâce à l'optimisation industrielle, nous avons aussi pu diminuer fortement le nombre de nos bâtiments pyrotechniques utilisés.

Quels sont les autres sujets qui vous mobilisent ?

Soucieux de notre environnement, nous nous sommes orientés vers le Zéro Rejet, à travers la mise en place de systèmes de récupération et d'élimination. Nous cherchons par ailleurs à limiter notre consommation électrique en installant par exemple des panneaux photovoltaïques. Au niveau de la conception du produit, nous nous engageons dans la recherche de matériaux alternatifs, compatibles REACH. En matière d'ergonomie et de sécurité du travail, nous misons sur la sensibilisation régulière autour du métier de pyrotechnicien, qui requiert une grande rigueur.

Enfin, notre démarche se reflète au niveau de la supply chain, à travers la signature de la Charte de l'acheteur responsable. Nous avons, notamment, gagné le titre "Cristal des achats", grâce à une collaboration exemplaire avec un fournisseur. Notre respect de l'éthique se reflète dans la confiance qu'ont les autorités en Roxel, qui nous permet de nous présenter avec sérénité à l'export.

JOHN COCKERILL DEFENSE ENTRE INNOVATION ET DÉVELOPPEMENT À L'INTERNATIONAL



Thierry Renaudin

La société CMI Defense vient de se doter d'un nouveau nom, John Cockerill Defense, du nom de son fondateur, qui industrialisa le continent européen dès 1817. Aujourd'hui John Cockerill perpétue le savoir-faire de ce génie industriel en apportant les réponses technologiques adéquates aux besoins de notre temps. Entretien avec Thierry Renaudin, CEO de John Cockerill Defense, qui revient pour nous sur le secteur de l'industrie de la défense. Il nous en dit également plus sur le positionnement de son entreprise sur ce marché où l'innovation et la R&D jouent un rôle stratégique.

Quel est le positionnement de John Cockerill Defense sur le marché de la défense ?

John Cockerill Defense est un leader mondial en matière de systèmes d'armes tourelles à forte puissance intégrés à des véhicules blindés légers à grande mobilité (chenilles ou roues). Nous concevons et fabriquons des tourelles équipées de canons de 25 à 120 mm (canons de conception John Cockerill pour les calibres à partir de 90mm). Ces produits sont commercialisés sous la marque Cockerill®. Nous offrons également des outils de simulation high tech, des formations avec notre campus dans l'Est de la France et nous supportons bien sûr nos équipements à travers une offre de maintenance. Nos bureaux d'ingénierie et nos chaînes de fabrication et de montage se trouvent sur plusieurs sites en France et en Belgique. John Cockerill Defense regroupe 800 collaborateurs et réalise un chiffre d'affaires annuel moyen de 400 à 500 millions d'euros.

L'innovation est au cœur de votre développement et de votre croissance. Qu'en est-il ?

Convaincus de l'importance capitale de l'innovation dans notre secteur, nous avons des équipes dédiées à cet enjeu. Nous sommes aussi en veille technologique permanente dans le domaine civil : si la défense a longtemps été pionnière en matière d'innovations, l'émergence du digital a changé la donne. Cela nous permet de tirer le meilleur du civil pour que nos équipements soient toujours à la pointe de la technologie. De manière plus concrète, nous travaillons notamment sur l'intelligence artificielle et le traitement des données. Sans envisager le recours à des robots autonomes, ces technologies ouvrent des perspectives intéressantes en matière d'assistance des équipages, de prise en compte de l'environnement extérieur du blindé grâce à la collecte et au traitement de données afin d'optimiser la prise de décision. En parallèle, nous travaillons aussi sur la protection active de

nos tourelles pour défendre les équipements et les équipages face aux menaces actives. Dans le cadre de notre activité de simulation, nous nous intéressons aussi à la réalité augmentée. Enfin, nous sommes aussi mobilisés sur l'axe stratégique de la maintenance prédictive.

Quels sont vos enjeux ?

Au-delà de l'amélioration de la performance, de la protection des équipages, nous avons aussi identifié un enjeu majeur relatif au concept de combat collaboratif, qui vise à intégrer nos systèmes au sein d'un réseau opérationnel d'unités constituées.

Qu'en est-il de votre actualité en France et dans le reste du monde ?

En France, nous sommes mobilisés sur les modalités de participation au volet belge du programme Scorpion, pour lequel nous avons signé un accord de collaboration avec un partenaire membre du consortium. En parallèle, nous participons aux discussions préliminaires relatives à la seconde phase du programme Scorpion, pour lequel nous sommes en train de monter d'autres partenariats et de dessiner des premiers concepts à proposer.

Par ailleurs dans le cadre de la volonté affichée par la ministre l'été dernier de davantage impliquer l'industrie dans le support à la maintenance des équipements des forces, nous étudions comment John Cockerill Defense peut mettre à la disposition des armées ses compétences dans ce domaine.

Enfin à une échelle internationale et au-delà du marché européen, tout en renforçant notre positionnement sur notre marché historique, le Moyen-Orient, nous continuons à nous développer sur des marchés stratégiques, tels que l'Asie du Sud-Est et les États-Unis.

L'ESPACE AU CŒUR DU SYSTÈME DE COMBAT AÉRIEN FUTUR

Jean-Pascal Breton, *Général de division aérienne*

La contestation des espaces aériens s'accélère à travers des stratégies de déni d'accès (A2AD¹), pouvant nous priver de notre liberté d'action militaire. En effet, « la liberté d'action dans le domaine aérien est un préalable à notre protection ainsi qu'à toute liberté d'action militaire en l'air, à terre comme en mer² »

L'enjeu de l'aviation de combat future est de conserver la capacité à conquérir et maintenir la supériorité aérienne afin de pouvoir agir à travers la troisième dimension, à terre comme en mer. Elle devra agir en totale autonomie nationale pour des missions régaliennes tout en étant interopérable et crédible au sein de coalitions (Otan, UE, ad hoc, etc.). Ainsi, la construction du SCAF nécessite de changer de paradigme en s'appuyant sur le combat collaboratif, de nouveaux systèmes d'armes et l'adaptation incrémentale de notre système de combat aérien d'aujourd'hui. Le SCAF s'articulera durablement autour d'un avion de combat et de vecteurs non-habités, insérés dans un ensemble plus vaste et fortement interconnecté, le système de systèmes.

Ces différentes plates-formes n'agiront pas seules : elles agiront avec d'autres vecteurs aériens ou agissant dans d'autres milieux comme les satellites, les bateaux ou encore des unités au sol, les centres de commandement. Ces systèmes devront pouvoir reconfigurer leur action. Les vecteurs offensifs de nos alliés devront pouvoir rejoindre le premier cercle lors d'opérations menées en coalition.

Le SCAF reposera donc sur un échange de données très important, via une mise en réseaux de tous les acteurs. La maîtrise de ces échanges est fondamentale et représente un véritable enjeu de sou-

veraineté sans remettre en cause la recherche d'une très haute interopérabilité.

Le nouvel avion de combat, dénommé NGF (New Generation Fighter), sera un avion doté de fortes capacités de connectivité, de survivabilité et de manoeuvrabilité, faisant appel à des technologies de rupture. Cet appareil embarquera des capacités d'intelligence artificielle afin de mieux comprendre la situation, évaluer les options et *in fine* mieux décider.

Le NGF sera accompagné de plates-formes non habitées, dotées d'une certaine autonomie : les *remote carriers*. Ceux-ci serviront par exemple d'effecteurs déportés avec des capacités de saturation des défenses ennemies ou de renseignement.

Des engins de type drones de combat -très furtifs- pourront compléter le panel de plates-formes nouvelles, pour des missions de renseignement et des missions offensives. Leurs caractéristiques permettront de s'approcher au plus près des cibles les plus stratégiques et les plus défendues.

L'aviation de combat est aujourd'hui aux débuts du concept de système de systèmes. La connectivité entre différents vecteurs est déjà une réalité mais elle est encore assez partielle et limitée : le standard F4 du Rafale qui préfigure l'avion de combat ultra-connecté est le premier à implémenter de série la communication par satellite.

Le domaine spatial jouera un rôle éminent dans les capacités opérationnelles du SCAF en apportant des briques essentielles dans la construction du « système de systèmes », considérant la réactivité, l'allonge et la vitesse de déplacement qui caractérisent les vecteurs aériens. Inversement, le SCAF pourrait lui aussi contribuer au domaine spatial.

L'espace exo-atmosphérique est en effet devenu un maillon essentiel à chaque étape du cycle des opérations, de la connaissance de nos centres d'intérêt, à l'évaluation de nos actions sur nos ennemis, en passant par la planification et l'exécution de nos opérations. Les services fournis par le spatial sont nombreux tels que les communications satellitaires, le positionnement, la navigation, la synchronisation horaire, l'alerte avancée, la météorologie, la surveillance et l'écoute spatiales.

Ces capacités fournissent un avantage majeur et différenciant, en réduisant les incertitudes liées aux situations de combat. Elles permettent d'accéder aux zones ne pouvant être atteintes par les moyens terrestres, maritimes et aériens. Le suivi depuis l'espace des zones d'intérêt, par l'observation et l'écoute, contribue à la planification et à la conduite des opérations ainsi qu'à l'autonomie nationale d'appréciation de situation, en permettant de renseigner sur les dispositifs et intentions ennemis ou d'exercer une

1 : Anti Access Aerial Denial

2 : Général Philippe Lavigne, chef d'état-major de l'armée de l'Air, lors de son audition parlementaire le 17 octobre 2018

CSO-1 : CHRONIQUE D'UN LANCEMENT

Jean-Baptiste Paing, ICA et Cyril Cassera, IETA

Dans le monde du spatial, un lancement constitue toujours un événement particulier. Sans doute parce qu'il concentre en quelques minutes le pouvoir de consacrer, ou au contraire de réduire à néant, de multiples années de labeur, et qu'il dramatise ainsi la dure réalité du spatial selon laquelle la frontière entre le succès et l'échec est souvent très ténue.

Peut-être aussi parce qu'il prend place à Kourou, dans une contrée lointaine de l'hexagone, dont le décor tropical fait oublier le quotidien métropolitain, et donne le sentiment d'une parenthèse hors du temps. Probablement enfin parce qu'il reste un événement rare, et que cette exceptionnalité possède le don d'exalter les sentiments et de créer une atmosphère singulière, savant mélange d'enthousiasme et de solennité.

Le lancement de CSO-1 n'a pas échappé à l'ensemble de ces ingrédients. D'une part, parce que le chemin pour y arriver n'a pas été simple, parsemé d'embûches techniques qui ont généré beaucoup de tensions au fil du projet eu égard à la dérive calendaire qu'elles ont engendrée, même si, avec le recul, cela constitue certainement le prix à payer pour obtenir un objet à l'état de l'art, facteur d'une supériorité technologique indissociable d'un avantage opérationnel. D'autre part, parce que ce lancement a amorcé un cycle de renouvellement rapide de l'ensemble des capacités spatiales de la Défense – cinq autres lancements (CSO-2, CSO-3, Ceres, Syracuse IV A, Syracuse IV B) sont prévus au cours des quatre prochaines années – dans un contexte de fort dynamisme politique autour de l'Espace à la suite de la volonté exprimée par le président de la République à l'été 2018 de bâtir une stratégie spatiale de Défense. C'est d'ailleurs ce contexte qui a justifié la mise



le satellite est arrimé sous la coiffe du lanceur Soyouz, sur le pas de tir de Kourou

en place d'une communication forte à l'occasion du lancement de CSO-1. Le principe même de cette communication a fait l'objet de débats, car elle est par essence risquée : le succès d'un lancement n'est jamais garanti, et il suffit d'effectuer une recherche Internet rapide pour se persuader de la cruauté de la mémoire numérique en la matière. Néanmoins, la prise de risque l'a emporté sur la pusillanimité, et c'est donc un dispositif complet qui a été mis en place : voyage de presse à Kourou avec une délégation d'environ quatre-vingts personnes, retransmission en direct du lancement à l'Ecole Militaire et sur Internet ... toute une organisation qui a nécessité plusieurs mois de travail, pour au final ne pas forcément se dérouler totalement conformément au plan établi. C'est dans les coulisses de l'événement que nous allons vous emmener dans la suite de cet article. Morceaux choisis, relatés par Jean-Baptiste Paing depuis Kourou et Cyril Cassera depuis Toulouse.

Dimanche 16 décembre 2018 :
Séquence RG4

C.C. La quatrième Répétition Générale représente l'ultime entraînement au lancement pour l'ensemble des entités impliquées et permet de réunir toutes les équipes opérationnelles en conditions représentatives deux jours avant le tir. Son but principal est de dérouler la phase de chronologie négative (i.e. l'ensemble des activités en amont du lancement), ainsi que le lancement lui-même, alors que le satellite est déjà confortablement installé sous la coiffe du lanceur Soyouz, et que ce dernier est sur le pas de tir, prêt à prendre son envol. Pour CSO-1, cet essai ne fut pas de tout repos. Lors de la chronologie négative, les équipes thermiques remontent une alarme au niveau d'une ligne de réchauffement d'un composant, qui ne parvient pas à atteindre la consigne de température demandée. Une alerte majeure, de celles qui peuvent sérieusement remettre en cause le lancement. Il est 20 h, j'en alerte le directeur de programme.

J.B.P. ... Moment de solitude ... d'autant plus que je venais d'écrire au Délégué quelques heures plus tôt que tout se passait nominale-ment. Dans ma tête, je suis déjà en train d'imaginer les conséquences d'un report de lancement : la délégation doit décoller le lendemain de Charles-de-Gaulle pour se rendre à Kourou, faut-il annuler le déplacement ? De toute façon, cela ne sert à rien d'extrapoler tant que le report de lancement n'est pas confirmé, je conviens donc avec Cyril de se rappeler dès qu'il aura plus d'informations.

C.C. « *Cela sera peut-être tard dans la nuit.* »

J.B.P. « *Pas grave, de toutes façons, je ne vais pas pouvoir dormir.* »

C.C. Un véritable commando se met alors en place, composé des meilleurs thermiciens du Cnes, d'Airbus et de Thales, afin de faire toute la lumière sur cette anomalie. Après une soirée de recherches et d'investigations, la cause est enfin comprise : le réchauffeur incriminé fonctionne avec une technologie dont les rendements sont optimisés pour un fonctionnement en impesanteur, ou a minima, dans une configuration à l'horizontale afin de réaliser des tests au sol. Or, sous la coiffe, le satellite patiente paisiblement en position verticale, configuration qui n'avait encore jamais été testée pour mettre en œuvre ces lignes de réchauffement. Il ne s'agit donc que d'un effet pernicieux de la gravité. Tout le monde peut souffler, le tir aura bien lieu. Il est aux alentours de minuit, je rappelle Jean-Baptiste.

J.B.P. Soulagement en effet. Cyril m'indique que l'anomalie a pu être comprise en se replongeant dans les rapports de test de l'équipementier qui avaient mis en évidence ce comportement particulier en position verticale. On entend de manière

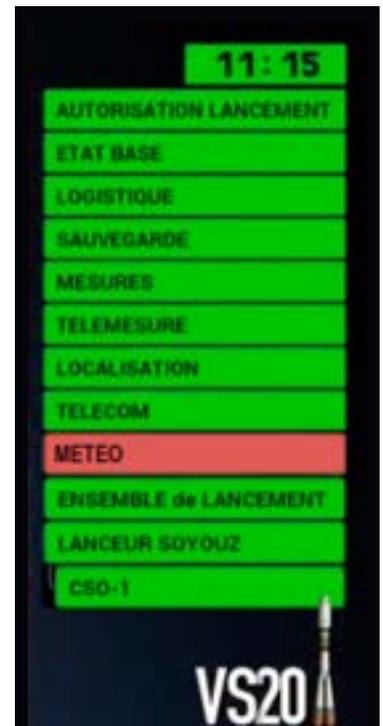
récurrente le reproche selon lequel on demande à l'industrie une documentation trop conséquente, que l'on n'a souvent pas le temps de lire. Moi le premier, je m'en suis souvent fait la réflexion. Mais à ce moment exact, j'ai compris pourquoi il était nécessaire de le faire. Sans cela, il est probable que CSO-1 n'aurait pas été lancé en 2018.

Mardi 18 décembre 2018 :
Chronologie négative jusque
décision arrêt tir

J.B.P. Le jour J. Nous y sommes. Le point d'orgue du programme pour toutes les personnes ayant travaillé sur le projet CSO, pour certaines depuis plus de dix ans. Réveil matinal vers 04 h 30 à Kourou (08 h 30 heure française) pour visiter les installations du Centre Spatial Guyanais avant le lancement. La veille, toute la délégation est arrivée sous un véritable déluge à Kourou. Ce matin, la météo semble plus clémente, l'ambiance est détendue, et j'ai le sentiment que tout est aligné pour le lancement. La date même du 18 décembre, date de lancement des précédents satellites Hélios II A (en 2004) et Hélios II B (en 2009) n'est-elle pas un totem garantissant le succès du jour ?

C.C. La tension est palpable en Salle de Contrôle Prioritaire (SCP) au Cnes, où toutes les données issues du satellite sont supervisées, et d'où partira l'ensemble des commandes à monter à bord. Les premières équipes sont à pied d'œuvre depuis 5 h du matin, heure française, afin de réaliser les premières vérifications sur les liaisons réseaux entre Toulouse et Kourou.

A 10 h, tous les paramètres nécessaires à la décision de lancement sont au vert. Tous ? Non ! Car un irréductible paramètre résiste encore et toujours... La météo, puisque c'est elle dont il s'agit, est capricieuse. Les vents en altitude ne sont pas particulièrement vio-



18 décembre, un rouge météo funeste car les vents d'altitude vont dans le mauvais sens...

lents, mais leur direction (de la mer vers la terre) remet en cause la sauvegarde des villages aux abords du pas de tir en cas de problème lors du lancement. Et bien évidemment, la sécurité de la population reste la priorité absolue.

J.B.P. 6 h, heure de Kourou. Je reçois l'information du « rouge météo ». La nouvelle me décontenance, je n'arrive plus vraiment à me concentrer sur la visite, mais je me raccroche à l'idée que la météo peut encore évoluer favorablement d'ici l'heure du lancement. Tout n'est pas perdu !

C.C. Durant la matinée, plusieurs ballons-sondes seront lancés afin de rafraîchir les mesures, et espérer voir une amélioration de la situation météorologique, sans succès. En SCP, les visages se crispent. Personne ne veut réellement y croire. Et pourtant, il faudra bien s'y résoudre. A midi, heure française, après un dernier lâcher de ballon-sonde qui n'y changera rien, la décision est prise : le tir est repoussé au lendemain.

J.B.P. 8 h, heure de Kourou. Toute la délégation s'achemine dans la salle de contrôle Jupiter, d'où est supervisé le lancement, afin d'assister aux traditionnels briefings officiels d'avant lancement. Le Président du Cnes prend la parole en premier, et confirme à la fin de son discours l'information que tout le monde redoutait : le lancement est reporté. La suite des discours est un peu un pensum, autant pour les intervenants qui n'ont plus vraiment le cœur à parler que pour les auditeurs qui n'ont plus vraiment le cœur à écouter.

Mercredi 19 décembre 2018 :
Lancement

C.C. Toutes les équipes se retrouvent ce mercredi matin, les yeux quelque peu cernés du fait d'un sommeil parfois difficile à trouver, en espérant que cette deuxième tentative sera la bonne. Cette fois-ci, tous les paramètres sont au vert. Une heure avant le tir, l'optimisme est de mise, les réservoirs du lanceur ont été remplis, et l'ensemble des activités s'est jusqu'ici déroulé tout à fait nominalement.

J.B.P. Alors que la veille personne ne misait sur une amélioration météo, je me lève en pensant que le lancement n'aurait pas lieu non plus aujourd'hui. Surprise, les voyants sont au vert, la météo guyanaise est décidément bien ca-



Tout ou presque a été testé sur CSO, ici en chambre sourde pour essais



Retransmission en duplex du lancement à l'Ecole Militaire : chacun ressent l'émotion d'un grand moment

précieuse ! Je ressens un mélange d'euphorie et de déception pour toutes les personnes de la délégation qui ont dû repartir la veille, car le vol spécial les ayant acheminés ne pouvait rester et tous les vols commerciaux étaient pleins à l'approche des fêtes de Noël. Heureusement, l'équipe en charge de l'organisation de la retransmission du lancement à l'Ecole militaire à Paris, a non seulement réussi à se reconfigurer pour assurer la prestation malgré le report d'une journée, mais également à intégrer au dispositif toutes les personnes qui revenaient de Kourou. Belle prouesse de leur part !

C.C. Tout semble trop beau pour être vrai, et à H-40 min (i.e. vers 17 h, heure française), l'ensemble des postes de contrôle de la SCP perd le lien avec la télémessure issue du satellite. Les équipes s'empresent de tout tenter pour rétablir la communication au plus vite : il va de soi qu'en l'état, le lancement serait de nouveau reporté. A H-30 min, devant l'incompréhension de l'anomalie, la décision est prise de rebooter tous les serveurs. A H-15 min, la communication est enfin rétablie ! Même si la cause du problème ne sera comprise que quelques jours plus tard, toutes les équipes poussent alors un grand ouf de soulagement.

J.B.P. Je n'ai appris cette péripétie d'avant lancement que quelques jours plus tard. Depuis Kourou, cela a été totalement transparent.

Heureusement, car la tension était déjà assez importante : le fait de lancer un satellite militaire français à partir d'un lanceur Soyouz russe ne me rassurait pas vraiment.

C.C. Il ne reste plus que quelques secondes avant le tir, le décompte est lancé. Un lourd silence envahit la salle. Tous les regards sont tournés vers l'écran principal pour voir décoller avec une finesse incomparable les 300 tonnes du lanceur Soyouz.

J.B.P. 13 h 37, heure de Kourou. Tout le monde s'est précipité sur le balcon de la salle Jupiter quelques minutes avant pour voir le lanceur *de visu*. Avec un pas de tir à 25 km, il faut bien l'avouer, on ne voit pas grand-chose, et finalement tout le monde rentre assez vite pour suivre le lancement sur grand écran. J'ai les yeux rivés sur la courbe de trajectoire du lanceur. Chaque annonce du directeur de tir – « *Trajectoire nominale* » – est un soulagement. Les supports de communication vidéo préparés s'égrènent un par un, le rendu est plutôt satisfaisant, la séquence est assez dynamique, et elle a le mérite d'alléger l'attente.

C.C. En exactement une heure et une minute, le satellite est mis sur une orbite située à 800 km de la Terre. Ariespace a parfaitement géré les différentes opérations émaillant le voyage de CSO-1 jusqu'à la séparation entre le satellite et le lanceur. Les premiers

chiffres tombent, le satellite a été injecté à moins de 100 m du point prévu, ce qui est assez extraordinaire. Tout le monde peut exulter, la mise en orbite est réussie.

J.B.P. Les applaudissements pleuvent également à Kourou. C'est d'ailleurs assez paradoxal car à ce moment, seul Arianespace peut réellement se réjouir : la mission de lancement est certes réussie mais on n'a encore aucune garantie que le satellite fonctionne. Depuis Paris, la ministre des Armées prend la parole pour se féliciter de cette réussite. Les premières bonnes nouvelles tombent rapidement en parallèle : le déploiement des panneaux solaires est réussi, ce qui assurera l'énergie nécessaire au satellite.

C.C. Le Cnes prend alors la main sur la suite des activités. Le but est de permettre au satellite d'être autonome, de façon sécurisée, lors des périodes où il ne sera plus visible des radars au sol. A 2 h du matin, heure française, toutes les opérations essentielles ont été menées, le satellite peut passer sa première nuit seul dans son nouvel environnement.

Du jeudi 20 décembre au samedi 22 décembre 2018 : premiers jours de vie jusqu'à la première image.

C.C. Les équipes ont toutes en ligne de mire le principal événement de tout satellite d'observation après son lancement : la découverte de la première image réalisée. Mais avant d'y arriver, il leur faudra évidemment patienter, le satellite n'étant pas encore dans sa configuration nominale. Ainsi, la première journée se concentre sur le démarrage des différents éléments composant la plate-forme du satellite : les roues gyroscopiques lui permettant de contrôler son attitude, les viseurs d'étoiles afin de l'aider à s'orienter dans l'espace, ou encore la centrale à inertie pour réaliser des contrôles de vitesse angulaire. Le deuxième

jour, quant à lui, permet de mettre en œuvre les composants de la charge utile (c'est-à-dire l'instrument qui réalisera les images) et notamment du sous-ensemble de détection de la voie visible, pièce maîtresse de CSO-1 composée de l'ensemble des détecteurs d'où seront captés les photons.

Le troisième jour est dédié à la réalisation des premières images. Celles-ci sont réalisées à bord en début d'après-midi, et vidées dans la foulée sur une station de réception dédiée, à Creil. Malheureusement, une anomalie dans la fonction de suivi de l'antenne empêche les images d'être entièrement reçues. Le revers est rude pour les équipes, dont le moral est clairement impacté pendant de longues minutes, jusqu'à un miraculeux appel de la station de Kiruna, en Suède, nous informant que leur antenne a pu récupérer des données issues de CSO-1 de manière automatique. La télémesure est ainsi récupérée au Cnes, où les équipes du Centre d'Exploitation et de Qualité Image (CEQI) s'empressent de traiter les données afin de fournir au plus vite un résultat exploitable.

J.B.P. En ce samedi, je suis pendu à mon téléphone dans l'attente des nouvelles concernant la première image. Je trouve assez ironique que la première image soit finalement récupérée sur la station de réception mise à disposition par nos partenaires suédois. La notion de souveraineté vient d'en prendre un coup !

Peu importe, en fin de journée, je reçois un coup de fil du Cnes, m'indiquant que les premières images sont « splendides ». Magnifique cadeau de Noël, je m'empresse de partager la nouvelle.

C.C. J'apprends que les performances image sont incroyables via le message de Jean-Baptiste. Alors que je fais le pied de grue depuis plusieurs heures devant la porte du CEQI au Cnes, qu'il est convenu de laisser les experts travailler tranquillement pour sortir la première image afin de ne pas leur mettre la pression, je reçois avec un peu d'énergie le fait de m'être fait spoler la primeur de l'annonce ! Mais j'ai tout de même le privilège de découvrir les images de CSO en premier, et je mesure l'aboutissement de tout le travail accompli jusqu'ici.

Le chemin est encore long avant de rentrer en phase d'exploitation, mais le plus dur est fait : CSO-1 est une nouvelle référence en matière d'observation spatiale. ☺



CSO-1 fournira des images d'une très haute définition



Cyril Casserra,
IETA

Cyril CASSERRA est architecte essais système du programme MUSIS. Il a rejoint la DGA en 2016, après une première expérience professionnelle au Cnes consacrée aux opérations des satellites Pléiades.



Jean-Baptiste Paing,
ICA

Jean-Baptiste Paing occupe la fonction de directeur du programme Musis depuis 2016. Auparavant, il était conseiller technique auprès du Délégué général pour l'armement et son début de carrière a été consacré à des fonctions techniques en lien avec les projets spatiaux de renseignement électromagnétique.

D'EUROPA À COPERNICUS, UN CHEMIN VERS LE FUTUR

Par Jean-Jacques Dordain, Directeur général de l'Agence spatiale européenne de 2003 à 2015



La réussite d'aujourd'hui est la lumière des décisions du passé, décisions prises et activités faites depuis plus de cinquante ans ; cette lumière est rassurante mais pas suffisante pour garantir la réussite dans le futur, au sein d'un monde qui change de plus en plus vite sur Terre et dans l'Espace.

« D'Europa à Copernicus » est un bon résumé de l'évolution de l'Europe spatiale pendant ses cinquante premières années : de l'échec au succès, du lanceur aux services, de l'Espace à la Terre, de l'ingénieur aux citoyens, de l'intergouvernemental au communautaire, avec un point commun, le rôle essentiel des gouvernements qui ont fixé les objectifs, donné les moyens et organisé la mise en œuvre. Sur ce chemin, l'Europe a rattrapé son retard initial sur les grandes puissances spatiales, a innové en créant les premiers opérateurs de l'Espace, a engrangé des premières et des succès, a démontré son efficacité par le niveau relatif des investissements consacrés à l'Espace, et est devenue le partenaire le plus fiable au monde. L'Europe a ainsi largement contribué à faire de l'Espace une dimension économique et sociale de la vie sur Terre.

L'Espace est ainsi devenu un terrain d'enjeux beaucoup trop importants pour continuer à se développer en

L'Europe spatiale est souvent citée en exemple pour symboliser la réussite d'une Europe, certes complexe, mais capable de premières et partenaire recherché dans le monde.

sanctuaire réservé aux acteurs traditionnels de l'Espace. En particulier, la capacité des satellites à être les seuls outils à pouvoir collecter légalement une grande variété de données en tout point du globe et à les redistribuer en tout autre point instantanément, exploitée depuis toujours par les acteurs de la Défense qui sont ainsi les utilisateurs principaux de l'Espace, a plus récemment soulevé l'intérêt des acteurs d'Internet, riches d'argent et avides de données. Tous ces acteurs d'Internet, américains et chinois, ont investi l'Espace avec des processus, des méthodes, des standards complètement nouveaux qui ouvrent les barrières et bousculent les acteurs traditionnels du spatial sans toutefois les remplacer, tant chacun bénéficie de l'autre.

En effet, ce mouvement, qualifié de « NewSpace », comme toute nouvelle vague née en Californie, s'est d'abord largement nourri des marchés gouvernementaux garantis et des technologies développées et rendues disponibles par l'Espace traditionnel. Ainsi, un investissement minimum, débarrassé des contraintes traditionnelles associées aux investissements publics, peut produire un levier important pour tirer profit de ces marchés et de ces technologies. Les gouvernements, en retour, tirent profit des nouveaux standards de temps et de coût introduits par les nouveaux acteurs.

Il n'est donc pas étonnant que ce mouvement soit d'abord né aux USA, qui représentent aujourd'hui

les deux tiers des marchés gouvernementaux dans le monde et une grande source de technologies ouvertes, les deux étant réservés aux acteurs américains. Les géants américains d'Internet ont fourni l'étincelle du mouvement, faisant des Elon Musk, Jeff Bezos, Yuri Milner et consorts les figures de proue du mouvement. Les mêmes causes ont ensuite produit les mêmes effets en Chine.

Le mouvement a maintenant gagné l'Europe, avec le même retard que celui avec lequel l'Europe avait fait ses premiers pas dans l'Espace après les USA et l'URSS. À voir la capacité qu'a démontrée alors l'Europe non seulement pour rattraper son retard, mais encore pour prendre la tête de nombre de découvertes scientifiques dans l'Espace (Huygens sur Titan, Rosetta sur Tchouri, Planck dévoilant la lumière fossile du Big Bang...) et de la plupart des services publics hors Défense (météorologie, surveillance environnementale avec Copernicus) et commerciaux (télécommunications, lancements), la confiance est de mise quant à la capacité de l'Europe de rattraper plus que son retard d'aujourd'hui. Elle l'a fait à l'époque en cultivant ses différences : choix stratégiques différents, science et services au lieu de la démonstration de puissance et de la Défense, développement d'une culture de coopération au lieu d'un objectif de domination, développement d'un tissu industriel à la fois compétitif et réparti géographiquement permettant de garantir la cohésion européenne

sur l'ensemble des acteurs. Le chemin vers le futur sera différent car pour faire la différence dans le futur, il ne s'agit ni de copier le passé ni de copier les américains et les chinois d'aujourd'hui.

Le mouvement est donc là en Europe mais il implique jusqu'ici plus les acteurs spatiaux traditionnels qui ne peuvent ignorer les mouvements en cours dans le monde, qui affectent les marchés commerciaux dont ils dépendent, que de nouveaux acteurs de taille suffisante pour créer une différence significative en Europe comme l'ont fait les géants d'Internet aux USA. Comment donc transformer ce mouvement en Europe pour faire une fois encore la différence capable de placer l'Europe en tête des nouveaux développements ?

Trois spécificités essentielles caractérisent l'Europe par rapport aux autres puissances en mouvement, en particulier USA et Chine : le déficit des activités de Défense dans l'Espace, l'absence de géants d'Internet, et la multitude d'« Europes ». Ces trois spécificités peuvent apparaître comme des faiblesses, mais pas plus importantes que celles de l'époque où le lanceur Europa accumulait les échecs pendant que les Américains marchaient sur la Lune. En effet,

- si les activités de Défense dans l'Espace sont faibles aujourd'hui en Europe par rapport aux Etats-Unis, elles représentent le plus fort potentiel de croissance des activités spatiales en Europe. De plus elles sont à même de tirer rapidement le meilleur parti des nouveaux standards apportés par le « NewSpace », sans la résistance rencontrée aux USA lors de la création de l'Agence de Développement Spatial (SDA) qui vise à s'affranchir des standards d'approvisionnement du DOD. La nécessité de protéger les infrastructures spatiales européennes essentielles à la

vie quotidienne des Européens et à l'économie européenne (par exemple, 30 % de l'économie européenne est sensible aux prévisions météorologiques qui dépendent de façon significative et mesurable des données satellitaires) contre toute agression d'origine naturelle et humaine, est devenue une priorité à la fois nationale et européenne. Cette priorité et la capacité de la mettre en œuvre en Europe suivant les standards du « NewSpace » feront une première différence essentielle ;

- l'absence de géants d'Internet en Europe ouvre la porte à d'autres grands acteurs industriels pour s'intéresser à l'Espace. L'Europe est riche de grands groupes industriels dans les domaines de la mobilité, de la gestion des ressources, de l'économie circulaire ... et ces grands industriels commencent à s'intéresser à l'Espace, grâce à des initiatives comme celle prise par le Luxembourg sur l'exploitation des ressources de l'Espace ou par l'ESA sur le développement de systèmes fermés de support vie (programme Melissa). Ils y apporteront de nouveaux moyens et de nouveaux standards, éprouvés au cours de compétitions bien plus ardues sur Terre que dans l'Espace, qui feront la différence dans le temps ;
- enfin, l'Europe est multiple et complexe, pas seulement dans l'Espace, et les mouvements dans le monde ont tendance à desserrer les liens entre ses membres, chacun pensant pouvoir évoluer plus rapidement et mieux que son voisin. Cette variété est génératrice d'idées et de projets : on ne compte plus aujourd'hui le nombre de projets de nouveaux lanceurs, de nouvelles bases de lancement, de nouvelles constellations de satellites, de nouveaux services en Europe. Ces projets ne sont pas encore des produits et une

consolidation de ces différents projets sera nécessaire. Mais la compétition d'idées est le meilleur garant de faire la différence, pourvu que chaque projet européen ne considère pas les projets voisins comme des ennemis mais comme des partenaires potentiels dans un processus de consolidation, réalisant la combinaison entre la coopération d'intérêts et la compétition d'idées qui fera la différence.

Tout reste à faire, mais il y a un chemin et le génie européen pour le paver. ☺

Un succès européen désormais incontesté : Galileo

- 2000-2004 : études initiales (phase de définition)
- 26 juin 2004 : signature entre l'UE et les Etats-Unis d'un accord permettant la compatibilité et l'interopérabilité des signaux Galileo et GPS ;
- 2005-2009 : phase de développement initial, pour la réservation des fréquences et la validation en orbite (décision du Conseil de l'UE du 10 décembre 2004) ; lancements des satellites précurseurs Giove-A et Giove-B en décembre 2005 et avril 2008 ;
- 2009-2020 : phase de plein développement et de déploiement complet de la constellation, mise en œuvre par un règlement du Parlement européen et du Conseil de l'UE du 9 juillet 2008 (après décision du Conseil de l'UE du 29 novembre 2007 autorisant le lancement de cette phase et annulant le projet de concession) ;
- fin 2017 : début de la phase d'exploitation avec 22 satellites à poste à partir du 12 décembre 2017, le système Galileo étant déclaré opérationnel pour le signal ouvert (services complets attendus pour 2020).
- 26 satellites à poste depuis le 25 juillet 2018.

LES NOUVEAUX ENJEUX DE L'EUROPE SPATIALE

2019, ANNÉE CHARNIÈRE

Géraldine Naja, *Chef du Département Politique Industrielle et Audits à l'Agence Spatiale Européenne (ESA)*

L'espace change: des acteurs plus nombreux en compétition dans un marché incertain, une industrie qui se restructure et se tourne vers les services, et surtout le mouvement "NewSpace" qui remet tout en cause en Europe. 2019 est une année clé pour ces défis avec en particulier le prochain Conseil Ministériel de l'ESA en Novembre.



Le satellite devient incontournable dans la gestion des catastrophes, exemple de l'inondation dans le Queensland

Les enjeux institutionnels européens

L'Europe spatiale a fait ses preuves, en dépit d'un investissement public faible au regard des autres puissances spatiales : l'investissement public spatial représente 0,01 % du PNB européen contre 0,25 % pour les Etats-Unis et 0,22 % pour la Russie. Nonobstant, l'Europe est devenue première en termes de nombres de missions et de kilogramme en orbite par euro public investi dans le spatial, et est leader dans de très nombreux domaines scientifiques et de service public comme la météorologie par satellite.

Le premier enjeu institutionnel européen pour la politique spatiale est de s'assurer de l'efficacité de cet investissement public, par une gouvernance adaptée à la coexistence

des niveaux national, intergouvernemental et communautaire. Cette multitude de niveaux d'intervention et la diversité des partenariats et coopérations qui en résulte est une richesse pour l'Europe. Il faut noter en particulier l'intérêt fort porté par l'Union Européenne au spatial depuis le début des années 2000 ; désormais, plus d'un tiers du budget de l'ESA provient de l'UE. Aussi une gouvernance reflétant ces évolutions est-elle nécessaire, dont le principe directeur devrait être un renforcement des rôles de chacun sur ses domaines d'excellence et de compétence, le tout dans un esprit de subsidiarité bien compris. Ainsi l'Union Européenne devrait renforcer son rôle politique et donner au sein du Conseil Européen les grandes orientations en termes de politique spatiale européenne.

L'Union, au travers de la Commission Européenne, a également un rôle réglementaire essentiel pour permettre au secteur spatial européen de pouvoir concourir sur pied d'égalité avec ses compétiteurs, par exemple en ce qui concerne les politiques d'approvisionnement, le cadre juridique ou l'établissement d'un marché institutionnel européen. L'ESA, dont la flexibilité programmatique et les compétences en gestion de projet ont fait leurs preuves au travers de succès comme Ariane et Vega, Rosetta/Philae ou Meteosat et Copernicus, ainsi que les agences nationales, doivent continuer à développer les grands programmes européens de science, d'exploration et d'infrastructure spatiales et à soutenir la compétitivité industrielle et l'innovation technologique. Enfin, la GSA, agence de l'UE pour l'exploitation des systèmes spatiaux développés par l'Union tels que Galileo et Copernicus, doit affermir son développement et sa maturité et travailler plus étroitement avec l'ESA dans une logique où l'ESA développe le segment spatial des infrastructures, y compris leurs générations futures, et la GSA les exploite, en lien avec les communautés d'utilisateurs pour définir et fédérer leurs besoins. Tous les acteurs institutionnels du spatial européen doivent par ailleurs renforcer leur partenariat avec l'industrie spatiale, dans une logique de partage des risques et des responsabilités, et de coopération étroite

pour ce qui concerne le développement des programmes spatiaux proches du marché.

Un deuxième enjeu institutionnel concerne le développement de l'Espace militaire en Europe. Celui-ci a pour l'instant été limité, à la différence des autres grandes puissances spatiales qui ont utilisé la défense comme moteur de leur programme spatial, et développé essentiellement au niveau national, avec quelques coopérations bilatérales intra-européennes. Les programmes Galileo et Copernicus de l'UE et de l'ESA ont déjà des applications importantes pour la sécurité, et l'engagement renforcé de l'Union dans les questions relatives à la sécurité pourra permettre de combler le déficit de l'Europe en la matière. De ce point de vue, la création et la dotation financière annoncée du Fonds européen de la défense pour la période 2021 - 2027 constitue un pas dans la bonne direction, d'autant plus que ce Fonds devrait inclure un soutien à l'ensemble du cycle de développement industriel des produits de Défense, de la recherche au développement de prototype et à la certification.

Le défi du NewSpace

Le NewSpace fait quotidiennement la une des journaux, que ce soit pour les lanceurs de SpaceX ou l'alunisseur de Jeff Bezos. Ce mouvement est né aux USA de l'irruption des grands acteurs du numérique dans le spatial, à la fois à cause des capacités uniques du spatial pour la collecte et la distribution des données, et de l'intérêt de ces grands acteurs pour l'exploration spatiale et de leur conviction que l'Espace sera la nouvelle dimension de notre futur. Toutefois le NewSpace ne représente encore qu'une minorité des activités spatiales, moins de 10 % aux USA et de 3 % en Europe, même si ses méthodes et idées nous mettent tous au défi d'évoluer.

Aussi, l'émergence d'acteurs privés dans un secteur dominé jusqu'alors par le public, la démocratisation du spatial désormais accessible à tous, l'importance du marché plus que de la technologie, des services plus que de l'infrastructure, des coûts de production plus que de l'excellence technique, la prise de risque accrue, un rajeunissement et une plus grande diversité des acteurs individuels, sont des tendances qui s'imposent à nous – et c'est une excellente nouvelle pour l'Espace en général.

L'Espace a définitivement quitté la niche restreinte de ses débuts pour devenir une dimension essentielle pour la planète, les citoyens et l'économie. Nous ne pouvons plus vivre sans les services fournis par les systèmes spatiaux et notre futur dépendra sans doute de manière critique des ressources de l'Espace.

L'Europe commence à prendre la mesure du défi. Les grands industriels s'inspirent de ce mouvement et initient des *start-ups*, comme ArianeWorks incubée par Starburst. L'ESA et les agences nationales démarrent des initiatives innovantes telles les 18 Business Incubation Centers de l'ESA ou le « Grand Challenge » qui vise à créer des liens entre secteur spatial et non-spatial au travers d'un prix récompensant l'usage de technologies spatiales pour répondre aux problèmes d'autres secteurs (énergie, extraction de minerais). Les agences spatiales doivent apprendre à être encore plus réactives, plus flexibles, plus ouvertes à la prise de risque – et à investir dans les idées nouvelles !

2019, année clé pour le changement de paradigme du spatial au 21^e siècle

Les mois à venir seront cruciaux pour le spatial européen. D'une

part, en novembre prochain, le Conseil ministériel de l'ESA – « Space19+ » - devra décider des prochains grands programmes européens, en particulier pour la science, l'exploration et le vol habité, les applications (suite du programme Copernicus, nouveaux partenariats avec industriels et opérateurs pour les télécommunications), et pour la sécurité des moyens spatiaux. C'est ensuite dans le deuxième semestre 2020 que devrait se dérouler le premier vol de la nouvelle génération d'Ariane, Ariane 6, qui devra démontrer sa compétitivité sur un marché de plus en plus concurrentiel. C'est enfin tout au long des deux prochaines années que sera décidée la part consacrée au spatial dans le cadre financier pluriannuel de l'UE pour les années 2021 - 2027, et donc que seront confirmés (ou non) le poids et l'ampleur des ambitions de l'UE pour l'Espace.

Il faudra alors, plus que jamais, utiliser au mieux cet investissement public, pour préparer les technologies, les applications et donc les emplois de demain, dans une société de la connaissance qui utilisera de plus en plus l'infrastructure spatiale au service de toutes ses politiques, telles que recherche, environnement, sécurité, éducation, développement, transport et mobilité. ☺



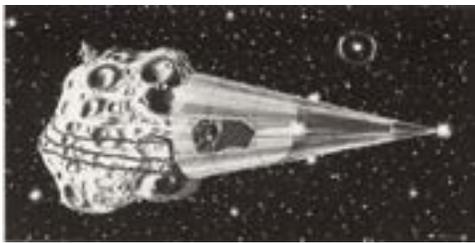
Géraldine Naja

Géraldine Naja (X82, Ensta 87, IEP Paris 87) a occupé diverses fonctions techniques, programmatiques et stratégiques à l'ESA. Elle a aussi été détachée pendant un an (2002 - 2003) auprès de la ministre de la Recherche comme Conseiller Stratégie et Prospective. Elle a rejoint le département Politique industrielle et Audits de l'ESA en 2015.

UN ESPACE DE RESSOURCES NATURELLES

Elyès Jaillet, ICA

L'espace est un nouveau monde qui n'a pas manqué d'attirer les convoitises pour les ressources qu'il peut receler. Les états d'abord ont cherché à légiférer avec des textes parfois contradictoires, des entreprises se sont créées et des missions d'exploration ont même été lancées. Bien que pour le moment, les conditions techniques d'exploitation soient loin d'une faisabilité et encore plus d'une rentabilité, les ressources spatiales pourraient devenir une clef d'accès à la vie extra-terrestre ou à des technologies à haute valeur ajoutée...



Installation minière arrimée à un astéroïde (image d'artiste de la Nasa)

En donnant la possibilité juridique à tout citoyen américain d'explorer et de récupérer à des fins commerciales les ressources de l'espace extra-atmosphérique, le SPACE Act de 2015¹, visant à fournir « un environnement plus favorable à la croissance d'une industrie spatiale commerciale en développement, en encourageant l'investissement du secteur privé et en créant des conditions réglementaires plus stables et prédictibles »², constitue à n'en pas douter un événement majeur dans l'histoire de l'exploration spatiale.

Il s'agit en effet d'un changement de paradigme par rapport aux principes qui régissaient, et continuent de régir, le droit sur l'utilisation de l'espace. Ces principes reposent notamment sur le traité de l'espace de 1966, auquel les Etats-Unis sont partie depuis son origine, dont l'article 2 stipule : « L'espace extra-at-

mosphérique, y compris la Lune et les autres corps célestes, ne peut faire l'objet d'une appropriation nationale par proclamation de souveraineté, ni par voie d'utilisation ou d'occupation, ni par aucun autre moyen. »

Le législateur américain, sentant une difficulté à concilier le SPACE Act et le traité de 1966, a pris la précaution de préciser que le droit des citoyens américains sur les ressources de l'espace doit se faire « dans le respect des obligations internationales des Etats-Unis », et que « le Congrès ne considère pas que, par cette loi, les Etats-Unis proclament leur souveraineté ou des droits ou une juridiction exclusifs ou souverains sur un quelconque corps céleste ».

Décider si ces deux textes sont effectivement conciliables constitue une problématique intéressante, bien entendu. Mais de même que le contexte géopolitique a profondément changé depuis 1966, force est de constater que ces deux textes agissent sur des domaines distincts : là où le traité de 1966 se plaçait sur le plan politico-militaire, le SPACE Act, en permettant

la possession, le transport, l'utilisation et la vente de ressources de l'espace, se place sur le terrain économique, ce qui, en première approche tout au moins, est tout à fait différent.

Il ne s'agit plus d'empêcher la proclamation de souveraineté d'un Etat sur un territoire ou bien la mise en place d'installations militaires dans l'espace ; le but du SPACE Act est avant tout d'encourager les initiatives et l'investissement privés en vue d'une exploitation des ressources de l'espace, que ce soit de l'eau ou des minéraux, comme s'il s'agissait de ressources naturelles de la croûte terrestre. Sans que le champ d'application du SPACE Act s'y limite, celui-ci mentionne en particulier les ressources situées au sein d'astéroïdes, ces derniers n'étant vus que comme des gisements de matières premières, qu'ils fassent quelques mètres ou des centaines de kilomètres de diamètre.

En effet, certains astéroïdes, dits de type « S », ont une valeur économique potentiellement considérable du fait de leur teneur élevée en métaux tels que le fer, le cobalt et le nickel, ainsi que des traces

1 : Dans le présent article, à l'instar de nombreux autres articles de presse, on appelle SPACE Act la loi américaine n° 114-90 approuvée par le Président des Etats-Unis le 25 novembre 2015, bien que SPACE Act ne soit en fait le nom court de la première partie de cette loi.

2 : Traduction de l'auteur du présent article.



Véhicule minier sur un astéroïde (image d'artiste de la Nasa)

significatives en métaux précieux comme le platine ou l'or. D'autres astéroïdes, plus rares cependant, ont des teneurs en métal jusqu'à dix fois plus élevées (on les appelle astéroïdes de type « M »).

L'eau constitue une autre ressource pouvant être librement récupérée et exploitée au titre du SPACE Act. Pour quelle raison le législateur américain a-t-il pris la peine de le mentionner, alors que l'eau est très abondante et peu coûteuse sur Terre ? Précisons déjà que de l'eau se trouve en quantité au sein d'un troisième type d'astéroïdes, dit de type « C », riche en carbone. Cette eau pourrait être utilisée en tant que telle par les missions spatiales habitées, réduisant ainsi la masse de ces missions au départ de la Terre ; elle pourrait également servir à fabriquer du carburant pour les véhicules spatiaux (en séparant hydrogène et oxygène).

Egalement attiré par la valeur considérable des ressources minières situées dans l'espace, un autre pays, le Luxembourg, a légiféré, en 2017, dans le même sens que les Etats-Unis. La loi luxembourgeoise du 20 juillet 2017 sur « l'exploration et l'utilisation des ressources de l'espace » stipule ainsi que : « Les ressources de

l'espace sont susceptibles d'appropriation ».

Quelques entreprises ont même été créées avec pour objectif de parvenir à une exploitation « minière » des ressources de l'espace. Citons notamment deux d'entre elles, qui sont implantées à la fois aux Etats-Unis et au Luxembourg : Planetary Resources, fondée en 2009 sous le nom Arkyd Astronautics, qui se félicite d'ailleurs du lobbying qu'elle a exercé dans le cadre du SPACE Act, et Deep Space Industries, fondée en 2012. Le site américain de cette dernière est emblématique de la double culture de ces entrepreneurs : dans la Silicon Valley, proche du centre de recherche Ames de la Nasa ; à la fois la culture de l'exploration spatiale et la foi des créateurs de start-up...

Car toutes ces potentialités sont certes séduisantes, mais encore faut-il pouvoir les concrétiser, c'est-à-dire pouvoir récupérer *physiquement* ces ressources. Et y parvenir nécessitera encore beaucoup de temps et d'argent !

Pour donner un aperçu de l'ampleur des défis technologiques, évoquons par exemple la mission américaine OSIRIS-REx, dont le but est d'étudier l'astéroïde géocroiseur³ Bénou et d'en ramener un échantillon sur Terre. Cette sonde, dont la mission aura duré 7 ans et coûté 800 millions de dollars (hors lancement), ne sera finalement en contact avec l'astéroïde que pendant 5 secondes et ne devrait récupérer qu'un échantillon de poussière de 60 g et 2 kg ! On comprend bien que l'on est encore bien loin d'une exploitation économiquement ren-

table... Une des raisons est que, contrairement à ce que l'on pourrait penser, les astéroïdes présentent une difficulté particulière : leur masse très faible, comparée à celle d'une planète ou même d'un satellite tel que la Lune, se traduit par une gravité quasiment nulle, et donc par une difficulté accrue pour tout engin spatial de maintenir un contact prolongé avec un astéroïde...

Entre l'optimisme débordant de quelques entrepreneurs et la prudence qu'il convient d'adopter face aux gigantesques investissements que requerrait la concrétisation de tels projets, difficile de savoir si ces initiatives ont une chance quelconque d'être un jour rentables (financièrement, énergétiquement...). Mais comment ne pas les trouver passionnantes ? D'autant que ces projets d'exploitation « minière » des ressources de l'espace comportent une dimension géostratégique. Il pourrait en effet s'agir d'une nouvelle source d'approvisionnement de minerais qui, sur Terre, seraient devenus trop rares ou inaccessibles. Comment ne pas penser par exemple aux terres rares, ces éléments chimiques essentiels aux technologies de l'information de notre quotidien, mais aussi à la production d'énergies non fossiles, tels que les panneaux photovoltaïques, produits en quasi-totalité en Chine ?



Elyès Jailet,
ICA

L'ICA Elyès Jailet travaille depuis 10 ans à la DGA, où il occupé des postes techniques sur les drones et les satellites d'observation. Il est à présent chef de cabinet de la directrice de la stratégie de la DGA depuis février 2018.

3 : Un objet géocroiseur est un objet qui, au cours de son orbite autour du Soleil, passe à proximité de l'orbite de la Terre.

L'EXPORT DES CAPACITÉS SATELLITAIRES EN PLEINE DYNAMIQUE

Thierry Carlier, IGA

Depuis plus d'une décennie, les systèmes spatiaux font partie intégrante des exportations d'armement. Il s'agit d'une tendance forte et durable liée, d'une part, au développement d'une offre industrielle à l'échelle mondiale au sein de laquelle les acteurs français occupent une place de premier plan, et d'autre part, à l'intérêt croissant des clients étrangers pour les applications militaires et de souveraineté offertes par ces systèmes. Ces exportations présentent des enjeux majeurs d'ordre stratégique et technologique qu'il convient de maîtriser.



Satellite Géostationnaire de Défense et de Communications stratégiques (SDGC-1) vendu par TAS au Brésil en 2013 et lancé en 2017 par Arianespace

Une offre nationale complète et performante à l'export

De par ses investissements institutionnels dans la durée, la France dispose aujourd'hui d'une offre industrielle unique en Europe couvrant la plupart des applications militaires de l'espace : les télécommunications, l'observation optique, l'alerte avancée, la surveillance de l'espace, la navigation par satellites. Notre industrie est, aujourd'hui, en mesure de produire à la fois les plateformes et les charges utiles des satellites, les centres de contrôle

et de mission, les terminaux utilisateurs et de proposer les services de lancement pour l'accès à l'espace, aux meilleurs standards mondiaux (résolution, précision,...). Les segments « espace » et « sol » font appel à des technologies-clés résultats d'une démarche de long terme et des orientations structurantes du Cnes et de la DGA en matière de recherche et développement.

L'effort national dans le domaine sera maintenu dans le futur pour répondre aux priorités de la revue

stratégique de 2017, qui est venue confirmer l'importance de la fonction « connaissance et anticipation », pour laquelle les capacités spatiales contribuent largement.

Les capacités spatiales de défense et la base industrielle et technologique ainsi développées peuvent être considérées comme complètes, crédibles et performantes sur le marché de l'export. Les réalisations de nos programmes nationaux constituent une vitrine exceptionnelle à l'exportation.

Ces capacités revêtent un caractère stratégique de par leur couverture et leur permanence. Nous avons bien conscience de leur sensibilité. C'est pour cette raison que nous avons sur le plan national pris des initiatives fortes pour leur contrôle, tant sur le plan réglementaire qu'au niveau des outils de régulation. La France a notamment inscrit les systèmes satellitaires et équipements, dont les caractéristiques leur confèrent des capacités militaires, dans la liste des matériels de guerre et matériels assimilés soumis à une autorisation préalable d'exportation. Pour les services d'imagerie, la mise en place au titre de la Loi sur les Opérations Spatiales (LOS) de la Commission Interministérielle des Données d'Origine Spatiale (CIDOS), qui s'assure que l'activité des exploitants primaires de données d'origine spatiale ne porte pas atteinte à nos intérêts fondamentaux, à la politique extérieure et aux engagements internationaux de la France, est une traduction concrète de cette volonté de maîtriser la diffusion et la prolifération de ces capacités et fournitures associées.

L'intérêt pour l'espace et ses applications militaires n'est plus à démontrer. Les clients sont mondiaux, sur tous les continents, institutionnels voire opérateurs de confiance ; ils sont à la recherche d'une autonomie opérationnelle d'appréciation, de décision et d'action offerte par des satellites d'observation et de télécommunications qui s'affranchissent des frontières terrestres. Comme la plupart des secteurs du domaine de l'armement, le spatial n'échappe pas à l'émergence de nouveaux entrants, et donc à la concurrence mondiale. Cette dernière est de plus en plus exacerbée avec l'essor des technologies spatiales qui profitent notamment de l'innovation soutenue du secteur et

de l'ambition de nouveaux acteurs étatiques et privés (*New Space*).

Dans ce contexte, la France se positionne activement sur le marché de l'export car contrairement à d'autres pays producteurs, elle est prête à offrir des solutions souveraines à ses partenaires, leur permettant de disposer d'une autonomie stratégique, dans des conditions qu'il convient toutefois d'agréer ensemble pour maîtriser la prolifération des produits issus de ces systèmes.

« LES SATELLITES ET LEURS ÉQUIPEMENTS À CAPACITÉS MILITAIRE... DES MATÉRIELS DE GUERRE »

Un encadrement rigoureux de l'exportation

Nous sommes prêts à concéder une autonomie, par l'accès à des données ou directement par la fourniture de systèmes en patrimonial, à des partenaires stratégiques ou de confiance que nous avons choisis en contrepartie d'un encadrement rigoureux de leur exploitation.

L'espace est marqué par la dualité de ses applications. D'une manière générale, elle conduit à des systèmes pouvant disposer de briques (missions ou de charges utiles) civiles et militaires. Pour se prononcer sur leur exportabilité et leur classement réglementaire (matériel de guerre, bien à double usage, produit commercial), leurs performances sont analysées par des experts techniques et opérationnels. Ce travail, conduit dans un cadre interministériel, nécessite une revue régulière du classement des technologies pour tenir

compte de l'évolution mondiale du marché civil, tant au niveau des produits que des acteurs.

Ainsi, la Commission Interministérielle pour l'Etude des Exportations de Matériels de Guerre (CIEEMG) joue un rôle clef comme pour toute exportation d'équipements de défense. L'exercice de ce contrôle nécessite une maîtrise des performances des systèmes exportés par nos industriels et un dialogue avec nos partenaires pouvant se décliner sous la forme d'accords intergouvernementaux qui définissent les obligations pour l'utilisation par les clients.

Les évolutions du paysage du domaine spatial viennent évidemment impacter le paradigme de l'exportation. Tout d'abord, le New Space, porteur de projets de constellation ou d'innovations contribue à démocratiser l'espace. S'il crée des opportunités à l'export pour nos industriels, il challenge les concepts classiques de satellites géostationnaires de télécommunication et de satellites défilant d'observation. A cela s'ajoute la militarisation de l'espace ; elle se traduira par de nouvelles demandes des clients exports (exemple : dispositifs embarqués de détection des menaces et de protection) qu'il conviendra de satisfaire sous réserve d'un examen neuf et accru des possibilités d'exportation. ☺



Thierry Carlier,
JGA, Directeur du développement international de la DGA

Après la direction de plusieurs programmes de missiles, il a été à la DGA architecte de force « projection – mobilité – soutien » puis sous-directeur de la coopération et du développement européen. Nommé ensuite au SDGSN comme directeur adjoint chargé des affaires internationales, stratégiques et technologiques, il est depuis 2018 directeur du développement international de la DGA.

QUAND LES FRÉQUENCES REPOUSSENT LES LIMITES

ENJEUX SPATIAUX DE LA PROCHAINE CONFÉRENCE DES RADIO-COMMUNICATIONS

Jean-Pierre Le Pesteur, IGA

L'ANFr en bref

L'Agence nationale des fréquences (ANFr) contrôle l'utilisation des fréquences radioélectriques en France et assure une bonne cohabitation de leur usage par l'ensemble des utilisateurs. Cette ressource rare et stratégique appartient au domaine public de l'Etat qui en a confié la gestion à l'agence : celle-ci a pour mission de négocier, au niveau international, les futurs usages des bandes de fréquences et de défendre les positions françaises.

Alors que la 5G s'apprête à révolutionner bon nombre d'usages à la surface du globe, en partant une fois encore à la conquête de nouvelles ressources, très haut dans le spectre des fréquences, la conférence mondiale des radiocommunications 2019 prépare également l'arrivée au-dessus de nos têtes d'une vague de nouveaux systèmes. Ils apporteront leur contribution à la connectivité haut débit, à l'observation de la Terre, aux opérations de sécurité et d'urgence, comme aux activités et programmes scientifiques. Attention cependant : ce foisonnement de nouvelles applications pour le spatial va exiger un accès au spectre garanti au niveau mondial, mais aussi des règles claires et simples pour réserver la ressource orbite - spectre... Des conditions indispensables à réunir pour sécuriser les investissements !



Méga-constellation non géostationnaire de OneWeb

A 1 000 km de la Terre, une nouvelle couche de connectivité grâce aux super-constellations de satellites

Même si des constellations de satellites non géostationnaires fournissent déjà des communications mobiles, la majorité des services de télécommunications par satellite passent encore par des satellites géostationnaires, aux capacités massives pour les projets les plus récents (VHTS Konnect d'Eutelsat). Pourtant, au cours des trois dernières années, plusieurs projets de constellations de satellites non géostationnaires en orbite basse (altitude

d'environ 1 000 km) ont vu le jour, et leur développement consacrera une rupture majeure, ébauchée il y a 20 ans. Outre la couverture universelle qu'ils apportent, ils présentent l'avantage d'une plus faible latence de bout en bout, élément déterminant pour les utilisateurs des services Internet, qu'ils se trouvent sur des plates-formes mobiles (trains, bateaux, avions) ou dans des zones encore mal desservies.

Au plan économique, le pari est risqué : ces projets nécessitent un grand nombre de satellites (environ 700 pour OneWeb) ... et misent sur la réduction de taille de ceux-ci et l'effet de série pour compenser en partie les coûts. Le terminal de l'utilisateur nomade est en outre plus complexe, pour suivre le déplacement et commuter entre deux satellites.

Parlons fréquences : ces nouvelles constellations demandent une profonde révision des conditions ré-

glementaires actuelles de mise en service des satellites, afin de les adapter aux réalités industrielles du déploiement de tels projets. Aujourd'hui, les fréquences réservées par des systèmes satellitaires doivent être en service dans les sept ans suivant la demande d'utilisation, ceci pour éviter la thésaurisation des ressources orbite - spectre : ce mécanisme efficace devient impossible à respecter quand il faut plusieurs dizaines de lancements pour achever le déploiement de ces constellations.

Beaucoup plus près de nos têtes, les plates-formes en haute altitude (HAPS) : grande autonomie et polyvalence

Définis comme stations du service fixe situées sur une plate-forme en haute altitude, les HAPS (High-Altitude Platform Stations) visent à compléter les offres de connectivité existantes dans les zones à faible densité de population, constituant ainsi une alternative crédible aux ré-



HAPS : dirigeable Stratobus (Thales Alenia Space)

seaux terrestres et leurs coûts d'infrastructure, comme aux satellites géostationnaires et leurs temps de latence élevés.

Positionnée à une altitude d'environ 20 km, une seule station offre une zone de couverture de plusieurs centaines de kilomètres.

Autre avantage, la polyvalence : une telle plate-forme peut effectuer simultanément des missions d'observation, être déployée rapidement pour des opérations de sécurité ou d'urgence, et même pallier une défaillance des communications terrestres.

Les industriels Airbus Defense and Space et Thales Alenia Space ont développé des concepts différents de HAPS : drones solaires *Zephyr* pour le premier, ballons *Stratobus* pour le second. L'américain Facebook qui avait développé le projet de drones *Aquila* s'est finalement associé à Airbus.

Les industriels français sont très actifs dans la promotion de cette technologie et contribuent activement aux travaux de l'Union Internationale des Télécommunications, pour dégager dès la fin 2019 les nouvelles ressources spectrales qu'ils convoitent.

Bien loin du gigantisme, des systèmes plus discrets rendent de grands services à la collectivité, mais il faut garantir leurs moyens de développement.

Nano-satellites : les *start-up* de l'espace !

Les nano-satellites ont permis dans un premier temps l'arrivée dans l'Espace de pays qui n'avaient pas encore de politique spatiale, mais

aussi d'universités et de *start-ups* souhaitant offrir à partir de ces satellites des services variés : observation de la Terre, transferts de données (IoT), surveillance.

Environ 1 000 nano-satellites, pesant entre 1 et 10 kg, ont déjà été lancés, la plupart d'entre eux utilisant les normes *CubeSats*, ce qui a facilité leur intégration dans les lanceurs. Déployés sur des orbites basses, de 300 à 900 km de la Terre, ils utilisent des bandes de fréquences, souvent en dessous de 1 GHz, bien adaptées à ces satellites, pour leur exploitation comme pour les communications de données.

Les projets se multipliant, il est grand temps d'en consolider le dispositif fréquentiel, en s'assurant qu'il y a suffisamment de bandes disponibles dans cette partie du spectre, mais en veillant à conserver des conditions réglementaires suffisamment simples pour ce type de missions et d'acteurs.

C'est tout l'enjeu d'un point de la prochaine conférence mondiale, qui concerne plus largement les satellites dont la mission est de courte durée (moins de trois ans) : trouver un équilibre entre le bénéfice de simplifications des procédures, essentielles pour les petits acteurs, et la protection d'utilisations à fort enjeu, présentes dans ces mêmes bandes, comme entre autres les radiosondes météorologiques.

Système ARGOS : mieux protéger ses satellites contre les brouillages, enrichir ses missions

Argos est un système de localisation et de collecte de données exploité par CLS, filiale du Cnes, qui permet d'assurer un suivi de l'environnement et des espèces animales. Actuellement, 22 000 balises Argos envoient plus de 3 millions de messages par jour.

La CMR-15 avait su trouver des solutions réglementaires face aux fausses alertes dont était victime le signal de détresse du système dérivé d'Argos, Cospas-Sarsat, visant

exclusivement l'alerte et la localisation en cas de détresse.

La CMR-19 devra quant à elle trouver les solutions réglementaires innovantes pour protéger la réception des satellites de collecte de données comme Argos. Les risques de brouillage sont liés à la faible puissance des balises, à leur taille parfois très petite (quelques grammes pour des balises portées par des oiseaux), face aux émissions à forte puissance d'autres stations terrestres. Tout l'enjeu des négociations ouvertes sur ce point est de trouver des règles de bonne conduite pour limiter les puissances de ces émetteurs...

Ce n'est pas tout : Argos doit aussi évoluer, en se dotant d'un nouveau type de balises pouvant cette fois également recevoir des signaux depuis les satellites, pour optimiser à distance la collecte des données. Comme le statut actuel ne protège pas Argos d'une plainte pour brouillage, une solution est étudiée, sur initiative de la France : il s'agit de définir un cadre réglementaire plus sûr, apportant ainsi une véritable sécurité au développement de cette fonctionnalité, élément indispensable à son financement. ☺



HAPS : drone solaire Zephyr (Airbus Defense and Space)



Jean-Pierre Le Pesteur, IGA
Président du
Conseil d'administration de
l'ANFr

Après un début de carrière à la DGA au sein du GIAT, Jean-Pierre Le Pesteur a été sous-directeur au ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie. En 2009, il devient sous-directeur des politiques d'exportation de la Direction du développement international de la DGA. Il est à l'ANFr depuis 2012.

TOUR D'HORIZON SUR UNE RÉVOLUTION SPATIALE

LE CNES, ACTEUR MAJEUR D'UN ESPACE EN PLEINE MUTATION

Lionel Suchet, IGA

Le Centre National d'Etudes Spatiales joue un rôle central dans la définition et la mise en œuvre de la politique spatiale française. Cette affirmation garde toute sa pertinence depuis bientôt soixante ans alors que l'écosystème spatial français a complètement changé en passant d'une feuille blanche à un ensemble de laboratoires de recherche et d'industries de toutes tailles et de premier rang mondial. Aujourd'hui, la forte accélération de ces évolutions propose un nouveau challenge à relever, plein d'opportunités et de risques.



CFO Sat (Chinese-French Oceanic Satellite) premier satellite franco-chinois, lancé fin octobre 2018

Les évolutions majeures du domaine spatial

Le constat d'une évolution de plus en plus rapide du domaine spatial n'est pas discutable et s'explique principalement par la révolution numérique qui modifie en profondeur nos sociétés tant au niveau des techniques que des usages et par l'augmentation importante du volume, de la qualité et de la diversité des données mesurées depuis l'Espace.

La combinaison de ces deux éléments permet de proposer de plus en plus de services utilisant

des données spatiales dans de très nombreux domaines d'activité (santé, sécurité, aménagement du territoire, pêche, agriculture, tourisme, transports, etc.). Les enjeux très étatiques et fondateurs du spatial (science et sécurité) s'enrichissent donc de forts enjeux économiques à l'instar des télécommunications spatiales qui avaient déjà ouvert cette voie.

Du fait de cette évolution majeure, l'économie étatique et fermée du monde spatial s'enrichit donc d'une économie ouverte où règne une compétition effrénée entre

des acteurs privés de plus en plus nombreux, pertinents et intéressés.

Dans le même temps, les enjeux stratégiques du spatial se renforcent partout dans le monde. Ainsi, à côté du rôle naissant des acteurs privés, le rôle des Etats reste très majoritaire et ce d'autant plus que le domaine spatial devient de plus en plus important pour la sécurité des populations, les enjeux de développement économique et la sécurité des systèmes spatiaux eux-mêmes.

Enfin, de plus en plus d'enjeux sociétaux trouvent aussi des réponses dans l'Espace. Au niveau opérationnel, c'est le cas depuis longtemps de la météorologie, mais maintenant se rajoutent la compréhension du changement climatique, de la déforestation ou de la désertification et la gestion des ressources en eau.

Dans un autre registre tout aussi important, le rêve de l'espace lointain, l'envie d'aller explorer plus loin pour comprendre nos origines inspirent nos sociétés et sont des sources importantes de vocations scientifiques.

Ainsi, l'Espace et les données spatiales seront demain de plus en plus une nécessité pour tous et partout.



Satellite Konnect VHTS pour couvrir les zones blanches en Internet haut débit (prévu pour 2021)

Un Cnes réactif

Dans ce contexte, une adaptation importante et rapide du Cnes s'imposait. En effet :

- les scientifiques du secteur spatial forment une petite communauté avec laquelle le Cnes a l'habitude de travailler depuis toujours ; mais s'interfacer avec la communauté des pêcheurs ou des responsables politiques de grandes agglomérations constitue un nouveau métier ;
- les acteurs industriels se diversifient aussi. Développer des systèmes spatiaux avec les grands industriels demande des compétences maintenant bien maîtrisées. Ces interactions évoluent cependant fortement vers plus de partenariat et de plus, il est nécessaire de réinventer certains modes d'intervention du Cnes auprès des nouveaux entrants ;
- le champ des technologies utilisables s'élargit aussi considérablement : miniaturisation des composants, intelligence artificielle embarquée, charges utiles entièrement numériques... Les boucles d'innovation se raccourcissent et les investissements nécessaires pour développer les nouvelles générations de produits augmentent.

Dès 2016, le Cnes a créé la Direction de l'Innovation, des Applications et de la science (DIA) avec plusieurs objectifs :

- proposer une analyse prospective et assurer une veille du domaine spatial ;
- inciter les acteurs économiques des écosystèmes non spatiaux à développer des applications utilisant des données spatiales ;
- aider le développement des initiatives nouvelles dans le domaine des services comme dans celui des infrastructures ;
- assurer la préparation des futures technologies spatiales en lien avec ces feuilles de route des différents domaines (science, observation, télécommunication, défense) ;
- préparer notre société à l'utilisation des outils spatiaux (nouveaux usages, formation).

Une nouvelle Direction du numérique, de l'exploitation et des opérations est créée dès l'année suivante pour regrouper les compétences nécessaires dans le domaine du numérique à la fois pour les enjeux d'entreprise, les segments sol des nouvelles missions spatiales et le traitement des données pour les nouveaux utilisateurs.

Les lanceurs ne sont pas en reste avec deux réflexions intenses lancées sur le futur de la base spatiale guyanaise et le futur des lanceurs européens.

Il faut noter que les ressources humaines du Cnes n'étant pas extensibles, ces évolutions n'ont été possibles qu'en transformant d'autres fonctions afin qu'elles utilisent moins de RH. Ceci est rendu possible par la montée en compétence des industriels du spatial et l'allègement du suivi technique des contrats.

Des résultats concrets et rapides

Moins de trois ans après, les premiers résultats sont bien concrets et montrent l'importance de la capacité d'adaptation et la force de l'intelligence collective du Cnes.

Dans le domaine de l'ouverture du spatial à la société, le projet Fédération est lancé. Sur le modèle des *hackers* et des *makers*, ce projet propose à qui le souhaite, de s'emparer de sujets coopératifs touchant aussi bien aux infrastructures qu'aux services spatiaux de demain. Le Cnes est à l'origine de sa création mais n'en est pas maître : le projet Fédération se développe maintenant par lui-même.

Dans le domaine des applications, de très nombreux partenariats sont noués avec de nouveaux écosystèmes : santé, agriculture, navigation autonome... Le Cnes s'est implanté au sein de Station F pour promouvoir l'utilisation des données spatiales. Les travaux entrepris avec ces nouveaux utilisateurs montrent combien le spatial et son potentiel restent méconnus. A chaque nouvel échange, de nouvelles idées d'applications voient le jour.

Pour adosser une aide financière à l'aide technique ou juridique apportée aux nouveaux entrants, le Cnes décide de créer un fonds d'investissement dédié au spatial : CosmiCapital.

De nouvelles méthodes de travail avec l'industrie sont expérimentées : créer une filière française de nano satellites par un travail collaboratif en plateau ou encore monter des projets coopératifs où le partenariat et le partage de coût de possession remplacent l'achat d'un système dans une relation client/fournisseur.

L'enrichissement de notre culture spatiale passe aussi par les échanges avec les autres acteurs mondiaux du domaine. Grâce à des coopérations de tailles et d'ambitions très diverses, le Cnes a aujourd'hui tissé des liens avec tous les acteurs mondiaux du domaine spatial.

Enfin, la formation est un sujet particulièrement important à la fois et pour préparer les futurs ingénieurs dont le spatial aura besoin demain, mais aussi pour préparer tous les acteurs scientifiques et économiques de demain à l'utilisation des outils spatiaux. Le Cnes y prend une part active.

Des réussites emblématiques

Une liste impressionnante de réussites récentes montre que le Cnes, tout en ouvrant de nouvelles voies innovantes pour préparer l'avenir, reste à l'avant-poste de l'excellence avec tout l'écosystème spatial français pour la réalisation et



Les données spatiales seront utilisées partout demain

l'exploitation de missions spatiales de références mondiales.

Ainsi, au cours de l'année 2018 seulement, on note : une participation instrumentale importante à la mission euro-japonaise Bepi-Colombo ; la commande à l'industrie française du satellite de nouvelle génération et de très grande capacité Konnect pour couvrir les zones blanches internet sur la métropole, le posé du robot Mascot sur l'astéroïde Ryugu en coopération avec l'Allemagne et le Japon ; le lancement de la mission CFO-Sat, première coopération spatiale d'envergure avec la Chine ; l'atterrissage du sismomètre SEIS sur Mars, instrument principal de la mission InSight du JPL (Jet Propulsion Laboratory, centre de recherche spatiale de la Nasa) ; enfin, le lancement et la mise à poste du satellite d'observation de défense de nouvelle génération CSO.

Après avoir été à l'origine de la création de l'écosystème spatial français, le Cnes œuvre très activement à son développement. Le spatial sera demain un atout déterminant pour les nations qui maîtriseront la conception, le lancement et l'utilisation des systèmes spatiaux. Nous pouvons compter aujourd'hui en France sur des compétences uniques et reconnues mondialement, que ce soit au sein de l'agence, des laboratoires de recherche ou dans l'industrie. La multiplication des initiatives privées doit être encouragée mais ne doit pas masquer le fait que le rôle des acteurs institutionnels reste aujourd'hui largement prépondérant pour le développement des activités spatiales.

Ainsi, grâce à ses soixante années d'expérience, son expertise mondialement reconnue et son positionnement toujours adapté et réactif, le Cnes assure les succès d'aujourd'hui et prépare la France spatiale de demain. ☺



Plus de 50% des variables climatiques essentielles sont mesurées grâce aux systèmes spatiaux



Lionel Suchet,
IGA
Directeur Général
délégué du Cnes

Lionel Suchet (X, Supaéro) a commencé sa carrière au Cnes (vols habités). Chef du service des projets scientifiques du Cnes en 2004, sous-directeur de l'ensemble des projets orbitaux, puis Directeur Adjoint du Centre Spatial de Toulouse en 2011, il crée la Direction de l'Innovation, et des Applications et de la Science en 2016. Il devient Directeur Général délégué du Cnes le 28 août 2017.

L'ISAE-SUPAERO,

DES FORMATIONS TOURNÉES VERS LE SPATIAL

Olivier Lesbre, /GA

Premier établissement d'enseignement supérieur au monde à former dès 1909 des ingénieurs aéronautiques, Supaéro a également été pionnier en formation à l'ingénierie spatiale. Cette évolution fut officialisée en 1966 quand l'Ecole nationale supérieure de l'aéronautique (ENSA) élargit sa mission à l'espace et devint l'ENSAE. Elle migra ensuite de Paris à Toulouse, en même temps que le centre technique du Cnes, précurseurs de la capitale européenne du secteur spatial. L'Institut supérieur de l'aéronautique et de l'espace, ou Isaé-Supaéro, formé en 2007 sous la tutelle de la DGA par la réunion de l'ENSAE et de l'ENSICA, s'affirme comme leader mondial de la formation supérieure à l'ingénierie aérospatiale. Il acquiert un nouveau rayonnement, et développe sa triple activité : formation, recherche, innovation.

Formation

Les anciens élèves de l'Isaé-Supaéro sont entre deux et trois cents au Cnes, comme chez ArianeGroup ou chez Airbus Defence & Space, et une centaine chez Thales Alenia Space. Ils sont nom-

breux dans les ETI et les PME du secteur, et on en compte même trois parmi les sept membres du corps européen des astronautes !

Entre 10 et 20 % des 650 diplômés de l'Institut (ingénieurs, masters et masters spécialisés, docteurs) débute leur carrière dans le domaine spatial. Et ce sont plutôt les meilleurs qui choisissent cette voie, que visent près de la moitié des jeunes à l'entrée du cycle ingénieur ! Il faut dire qu'il dispose d'excellents ambassadeurs comme Thomas Pesquet, SupAéro 2001, qui a toujours beaucoup de succès lors de ses passages sur le campus, comme à la dernière remise des diplômés...

Les ingénieurs et masters de l'Isaé-Supaéro apportent en particulier une capacité à maîtriser l'architecture d'ensemble des systèmes et la gestion des projets les plus complexes, en prenant en compte les problématiques technologiques comme les attentes des usagers. Une excellence reconnue dans le monde entier : l'International Astronautical Fede-

ration a décerné son prix annuel du meilleur éducateur aux sciences de l'espace à nos professeurs en 2011 (Yves Gourinat) et en 2016 (Bénédicte Escudier).



Bénédicte Escudier reçoit en 2016 la médaille de l'IAF à Guadalajara, Mexique.

Recherche

Pour soutenir un enseignement très multidisciplinaire, les recherches menées à l'Isaé-Supaéro sont nombreuses à avoir des applications spatiales. L'automatique, avec l'Onera depuis les années 1970, est appliquée au contrôle des micro-vibrations pour le pointage des satellites d'observation, et aux différents types de rendez-vous spatial. La microélectronique du groupe «capteurs d'images», en partenariat avec Airbus Defence & Space depuis vingt ans, a débouché sur des innovations très concrètes d'imageurs embarqués sur satellites. Plus récemment, le laboratoire de neuro-ergonomie pour la sécurité aérienne a développé une collaboration avec l'ESA et Airbus Defence & Space sur l'interaction homme-robot dans les missions d'exploration spatiale. Deux équipes de recherche de l'Institut sont entièrement dédiées aux missions ou aux véhicules spatiaux : l'une (SSPA) se consacre à l'exploration spatiale et l'autre (SACLab) aux concepts spatiaux avancés (cf. encadré).. Ces deux équipes ont connu une forte croissance ces dernières années.



Thomas Pesquet parrain de promotion lors de la cérémonie de remise des diplômes SUPAÉRO fin 2018

L'offre de formation « spatiale » de l'Isaé-Supaéro

Depuis 2015, l'ISAE-SUPAERO a développé la formation autour de 3 thèmes : les systèmes spatiaux, l'exploration spatiale et les applications et services liés à l'espace.

Le cycle ingénieur en français, refondu en 2015, propose ainsi une filière d'expertise consacrée à l'observation de la Terre et aux sciences de l'Univers, et un domaine d'application dédié à la conception et à l'opération des systèmes spatiaux. Deux des sept majeures proposées par le Master of Aerospace Engineering (en anglais) sont également consacrées à l'espace.

Deux mastères spécialisés et deux post-graduate diploma associés, trois certificats (« Launchers », « Earth Observation », « SpaceTelecommunications ») et de nombreux stages courts, tous enseignés en anglais, accueillent un public international en formation continue ou en poursuite d'études.

Le mastère spécialisé «Space systems engineering» propose une option sur l'exploration spatiale dans le cadre d'un partenariat avec des universités anglaise et italienne et avec le soutien de l'ESA.

Le mastère spécialisé «Space applications and services», conçu avec les équipes d'Airbus Defense and Space, répond notamment aux besoins de la défense. Il a été distingué en 2018 par Airbus comme un des meilleurs exemples de sa coopération avec l'enseignement supérieur au plan mondial.

Le labo SSPA est associé à des missions internationales à forte visibilité, en partenariat avec des partenaires prestigieux comme le Cnes, l'Irap, l'IPGP et le JPL (Jet Propulsion Laboratory) : la mission Insight s'est posée sur Mars en novembre dernier (cf. encadré), le micro de la mission Mars 2020 captera pour la première fois le bruit à la surface de Mars, Entrysat étudiera la rentrée atmosphérique, Eyesat observera la lumière zodiacale de la ceinture d'astéroïdes.

Innovation :

Le groupe de recherche « capteurs d'images intégrés » travaille depuis

20 ans en partenariat avec Airbus Defence & Space sur la technologie des imageurs CMOS pour l'observation spatiale. Des imageurs de très haute performance sont aujourd'hui opérationnels sur les satellites Sentinel 2 de l'ESA. Ces succès ont conduit à mettre en place des partenariats complémentaires avec le Cnes et Thales Alenia Space. Cette technologie, particulièrement résistante aux radiations, s'ouvrira à d'autres applications dans le domaine nucléaire.

Les travaux de recherche sur les liaisons entre satellites et stations sol

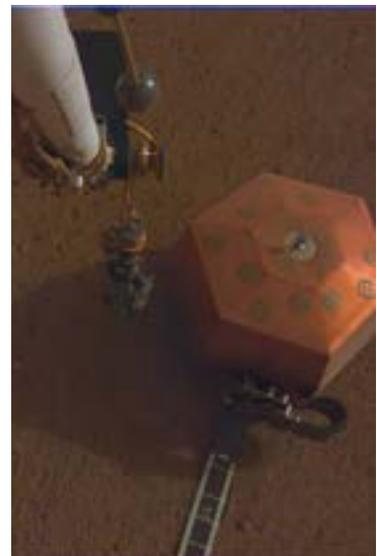
ont conduit au développement du protocole Tetrys, qui permet de faire face de façon optimale à des pertes de transmission. Ce protocole a aujourd'hui des applications pour les transmissions vidéo sur le réseau internet ; après la vente d'une licence à un opérateur américain, la start-up SPEERYT a été créée pour le développer et le commercialiser.

Trois de nos jeunes ingénieurs de recherche qui ont participé aux expériences Entrysat et Eyesat ont créé l'année dernière U-Space, une start-up dédiée à l'ingénierie système des nanosatellites.

Insight a posé la marque de l'Isaé-Supaéro sur Mars

Sélectionnée par la Nasa en août 2012 dans le cadre du programme Discovery, la mission Insight a déployé le 26 novembre 2018 le premier observatoire géophysique sur Mars, afin de comprendre les processus fondamentaux de la formation des planètes telluriques et de leur évolution. Elle emporte en particulier le sismomètre SEIS, qui vise à mesurer l'activité sismique, le flux d'impact des météorites et la marée causée par Phobos, et à caractériser la structure intérieure profonde de Mars (épaisseur et structure de la croûte, composition et structure du manteau, taille du noyau). Ce sismomètre extraordinairement sensible a été développé par l'Institut de Physique du Globe de Paris avec le soutien du Cnes, du Cnrs et du JPL, et un large éventail de contributeurs académiques : Isaé-Supaéro, École polytechnique fédérale de Zurich, Institut Max-Planck de Lindau, Imperial College de Londres et Oxford.

Les chercheurs de l'Isaé-Supaéro ont réalisé le modèle de performance du sismomètre, le modèle de performance de la mission, la spécification du logiciel scientifique et la conception des opérations de l'instrument sur Mars. Ils contribuent également significativement à l'exploitation des données scientifiques recueillies par le sismomètre depuis son arrivée sur Mars.



Le sismomètre SEIS sur le sol de Mars – on distingue le logo de l'ISAE-SUPAERO sur le ruban d'alimentation ! (Crédit Nasa/JPL/Caltech)

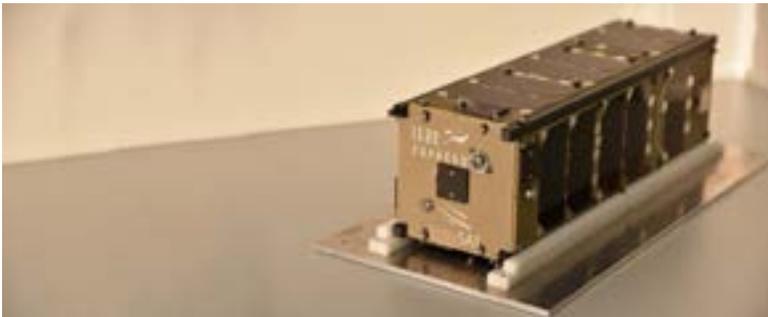
SACLab : Space Advanced Concepts Laboratory

Le Saclab conduit des recherches dans des thématiques variées : ingénierie et architecture système, analyse mission et optimisation, facteurs humains ou robotique pour l'exploration. Le contexte des futures missions d'exploration du système solaire (avec l'envoi de missions habitées vers la Lune, Mars ou les astéroïdes) constitue un des enjeux majeurs du domaine spatial de la prochaine décennie. Les travaux du Saclab sont soutenus par Airbus et ArianeGroup, via une chaire signée en juin 2017 au Bourget, qui leur permet de coordonner, accompagner, financer et promouvoir des projets de recherche et d'enseignement académiques, sur des thématiques intégrées :

- Service en orbite
- Fabrication et assemblage de structures dans l'espace
- Débris spatiaux
- Architecture de bases spatiales habitées (Lune et Mars)
- Interaction Homme-robot
- Météorologie de l'Espace

Architecture de nouveaux systèmes de transport spatial (réutilisation, systèmes propulsifs innovants)

A vocation internationale, l'équipe interdisciplinaire accueille des étudiants et enseignants des différentes formations de l'institut et des stagiaires venus d'universités partenaires : le DLR (Allemagne), le centre Goddard de la Nasa, l'IBMP (Russie), et les universités de Leicester (Grande-Bretagne) et de Turin (Italie).



Le nano satellite EntrySat : un Cubesat 3U

Entrysat : un nanosatellite de l'Isaé-Supaéro mis en orbite en avril 2019

Le processus de destruction d'un satellite ou d'un élément de lanceur lors de sa rentrée atmosphérique reste mal connu. L'Isaé-Supaéro a conçu l'expérience EntrySat, qui consiste à injecter un nano-satellite sur une orbite terrestre basse et à mesurer ce qui se passe jusqu'à sa rentrée atmosphérique. Il s'agit d'un « Cubesat 3U » (c'est-à-dire constitué de trois cubes d'un litre chacun). Sa charge utile scientifique permettra d'effectuer des mesures de l'environnement: température, accélération, pression ... ainsi que de l'intégrité du satellite (position, vitesse de rotation ...) jusqu'à sa destruction.

EntrySat est une mission soutenue par le Cnes dans le cadre des projets étudiants Janus. Plus de 80 étudiants ont participé à sa conception et à sa réalisation dans les laboratoires de l'Isaé-Supaéro. EntrySat a été lancé le 17 avril 2019 vers la station spatiale internationale pour être relâché en orbite en Juin 2019. Sa rentrée devrait avoir lieu début 2020.

Au moment où les entreprises conçoivent leurs sièges comme des campus et où les écoles développent l'entreprenariat, où l'innovation est reconnue comme essentielle pour la compétitivité future des économies avancées l'Isaé-Supaéro porte activement cette culture de partenariat depuis sa création. C'est en réunissant ainsi industriels, chercheurs et étudiants autour de projets communs et en mettant en synergie formation, recherche et innovation qu'il aide le secteur spatial à relever le challenge du « Newspace » ☺

Au cœur de l'écosystème spatial français

Les activités de formation, de recherche et d'innovation de l'Isaé-Supaéro se développent avec le soutien de nombreux partenaires de l'écosystème spatial :

- DGA, tutelle et premier financier, Cnes et de l'ESA via des programmes comme Janus ;
- Grands acteurs industriels, avec des chaires d'enseignement et de recherche, mais aussi le partenariat de nombreuses PME et ETI autour du Csut
- Laboratoires comme l'Onera, l'IPGP et l'Irap en France ou le JPL aux Etats-Unis ;
- Autres universités et centres spatiaux universitaires (l'X, Grenoble, Montpellier, ...)



Olivier Lesbre,
IGA, Directeur
Général de l'ISAE

Au cours de sa carrière, l'IGA Olivier Lesbre a dirigé le programme de missile SCALP à son lancement, participé à la mise en place du programme A 400 M et de l'Occar, œuvré comme attaché d'armement à Londres à la préparation du traité de Lancaster House et dirigé DGA-Maîtrise de l'information pendant cinq ans. Il est directeur général de l'Isaé-Supaéro depuis 2014.

LA CONQUÊTE DES MILIEUX EXTRÊMES

SIMILITUDES ET SYNERGIES DANS L'EXPLORATION DE LA TROISIÈME DIMENSION, DU FOND MARIN AUX SORTIES EXTRAVÉHICULAIRES

Arnaud Prost, IA

Quelles similitudes et synergies existent entre les différents milieux extrêmes que nous explorons ? Pourquoi est-ce que les astronautes s'entraînent-ils en milieu sous-marin et pourquoi est-ce que tant d'entre eux ont été pilotes de chasse ?



JF Clervoy une nouvelle fois en apesanteur

La frontière commune et cachée de la troisième dimension

Il existe une fascination pour la frontière qui délimite le monde. Aussitôt définie, aussitôt faut-il la dépasser : plonger plus profond, voler plus haut, s'aventurer plus avant dans l'espace lointain. Est-ce pour se rassurer, se convaincre que plus loin encore, il existe quelque chose que nous pouvons connaître, ou au contraire pour contempler une troisième dimension dont l'immensité nous donne la perspective de la toute petite place que nous occupons dans l'univers ? Sans doute ces deux aspects coexistent dans la conquête des fonds marins, du ciel et de l'espace. Je suis convaincu qu'il en existe un autre plus transverse encore : si nous repoussons les limites de cette troisième dimension, n'est-ce pas à la recherche de nos propres limites ? Nous avons trouvé dans la verticalité le laboratoire des capacités humaines : jusqu'où est-ce que l'équipement, la préparation, la technique, la collaboration des

équipages nous permettront d'emmener une femme ou un homme ? Nous nous attaquons en réalité aux limites et aux contraintes liées à l'humain : seule la forme des solutions change selon les milieux.

Contraintes physiologiques et interfaces homme - machine

On ne peut explorer un environnement extrême sans système de support-vie ou ECLSS (Environmental Control and Life Support System). Ils doivent maintenir à des niveaux constants et acceptables des paramètres essentiels comme la température, la pression partielle en oxygène et la pression totale, que ce soit pour un scaphandre de plongée « pieds lourds », une cabine étroite sur Rafale ou une combinaison de sortie extravéhiculaire. De plus, un ECLSS doit être peu contraignant afin que le niveau de fatigue imposé à l'opérateur soit acceptable. Par exemple, une combinaison spatiale qui serait pressurisée à 1 bar avec de l'air deviendrait inamovible, comme si l'on essayait de plier un ballon de rugby. La combinaison américaine EMU ou la combinaison russe Orlan sont donc pressurisées avec de l'oxygène pur à 0.3 bar pour maintenir une pression partielle en oxygène normale tout en limitant les contraintes physiques. Enfin, un ECLSS doit protéger contre les contraintes du milieu. A l'exception du rayonnement qui ne concerne pas les plongeurs, il existe des problématiques transverses à l'ex-

ploration des milieux extrêmes : la désaturation en gaz inertes, les variations de pesanteur ou de pression et l'obscurité concernent les plongeurs comme les astronautes et les pilotes.

Ces similitudes entre la mer et l'espace ont été au cœur de mon expérience à la Comex. J'ai travaillé pendant un an sur un scaphandre permettant de reproduire en plongée les contraintes liées à la pressurisation des combinaisons spatiales. En plaçant des ressorts aux articulations pour modéliser certains niveaux de pression et en ajustant la flottabilité du plongeur et du scaphandre pour simuler différents niveaux de gravité, j'ai pu réaliser des scénarios d'exploration au cours de plongées de plusieurs heures. Nous avons testé plusieurs interfaces homme-système : partage d'information par



Simulation d'exploration planétaire en 2016 dans le scaphandre Gandolfi II

satellite avec un centre de contrôle scientifique dans un autre pays, contrôle d'un robot, échantillonnage et *biomonitoring* du sujet.

En février, j'ai été libéré par l'Armée de l'Air pour participer aux essais réalisés par Comex pour le développement du sas instrumental de la future station lunaire Gateway. Lors de ces plongées d'essai, je simulais des activités intra-véhiculaires : l'objectif était de tester en bassin l'ergonomie de ce sas, en prenant le temps de se lester précisément pour obtenir une flottabilité neutre et simuler la microgravité. J'ai ensuite eu le privilège d'être plongeur de sécurité pour Jean-François Clervoy qui s'est prêté aux essais. Sa grande connaissance de l'impesanteur lui a permis de nous décrire les différences qu'il avait pu noter entre sa plongée et ses missions dans l'espace pour améliorer notre dispositif.

Contraintes psychologiques et situations d'urgence

Quel que soit le milieu extrême, il existe une constante psychologique à laquelle il est nécessaire de s'habituer : l'impossibilité de retourner instantanément dans un environnement hospitalier. Que l'on soit tributaire de la pressurisation du sas Quest sur l'ISS, de la proximité d'un terrain adapté pour son avion ou du



Arnaud Prost, Jean-François Clervoy et Hervé Stevenin, responsable de l'entraînement des astronautes européens reviennent de Vulcain...



Au cours de cette plongée, je réalise des essais de déploiement du sas instrumental en microgravité simulée pour évaluer son ergonomie

respect des temps de désaturation imposés par une plongée, le retour d'urgence, toujours prévu, n'est jamais immédiat. Pour répondre à cet inconfort, il faut se préparer le plus exhaustivement possible : envisager toutes les situations, évaluer les risques et scénariser les bonnes réactions pour garder son calme. C'est sans doute l'une des raisons pour lesquelles la plupart des astronautes ont d'abord été des pilotes : lister les « What if ? » fait partie de l'ADN des pilotes de chasse. Durant notre formation, une grande partie de notre travail consiste à affiner et rendre le plus efficace possible ce travail d'anticipation, qui conditionne la qualité de notre réaction en vol en cas d'imprévu. Or dans la formation aéronautique militaire, l'imprévu est la norme : il n'existe aucun intérêt pédagogique à voler dans sa zone de confort. Le pilote est sans cesse confronté à une panne ou un nouvel exercice. La plongée technique permet également de reproduire cette exigence psychologique : suffisamment profond, le silence et l'obscurité transforment toute plongée en introspection. Il faut s'approprier le fait que, quelle que soit l'urgence, il sera impossible de remonter au-delà d'une certaine profondeur. Seules la maîtrise du matériel et la maîtrise de soi rattachent le plongeur à la surface, comme elles rattachent l'astronaute à sa station ou le pilote de chasse à la piste.

Synergies dans l'exploration des milieux extrêmes

Ces expériences à Comex m'ont permis de me plonger au cœur des synergies qui existent entre le monde spatial et le monde sous-marin, dans un contexte international de haut niveau technique. Ma formation dans l'armée de l'air me convainc également qu'il reste énormément à découvrir dans ce que ces différents milieux ont à apprendre les uns des autres, pour repousser le plus loin possible nos limites. L'innovation de rupture peut venir d'une approche transverse en transposant des solutions existantes. De ce point de vue, la DGA tient une place privilégiée car elle est déjà confrontée à une multitude de milieux extrêmes ou hostiles. Forte de cette polyvalence, peut-être aura-t-elle un rôle clef à jouer dans cette nouvelle phase de la conquête spatiale vers la Lune et vers Mars ? 🌕



Arnaud Prost, IA

Entré dans le corps en 2016, et après un stage de fin d'étude au JPL de la Nasa, Arnaud Prost a travaillé un an pour l'entreprise Comex comme ingénieur et plongeur d'essai. Depuis deux ans, il est en formation pilote de chasse dans l'armée de l'Air avant de rejoindre le CEV. Scaphandrier et apnéiste confirmé, Arnaud est passionné par la plongée et les environnements extrêmes.

ETRE ACTEUR DU « NEW SPACE »

INNOVER, INNOVER, TOUJOURS INNOVER...

Benoît Hancart, ICA

Directeur des relations institutionnelles France, Thales Alenia Space

Qu'y a-t-il de si nouveau dans ce « New Space » ?

Y aurait-il donc un « Old Space » à la traîne d'une déferlante poussée par des start-up qui se passeraient de l'expérience des « anciens » ? Est-ce la fin des gros satellites remplacés par des constellations de microsattelites ?



Robot collaboratif utilisé en salle d'intégration des satellites pour développer les équipements électroniques

En fait, ni l'un, ni l'autre, mais tout à la fois. Car les fondamentaux demeurent : faire mieux, plus vite et moins cher. La révolution est ailleurs et simple à comprendre : le spatial, comme d'autres domaines d'activité, a été percuté par le monde du numérique.

Le numérique est tiré par nos besoins toujours plus importants en communication et accès à l'information, et est alimenté par les initiatives des géants du Web et quelques riches visionnaires américains. Ces acteurs ont vite compris que les applications sociétales de l'espace, télécommunications, observation de la Terre, navigation... sont une source d'inspiration et d'information à exploiter et faire fructifier.

La révolution numérique a non seulement permis le développement de projets spatiaux à vocation commerciale, rendant nos économies et nos vies encore plus dépendantes de l'Espace, mais aussi la diminution de son coût d'accès, donnant la possibilité à une cinquantaine de nations de déployer leurs propres systèmes orbitaux. Cependant, cette démocratisation de l'accès à

l'Espace a un revers : c'est désormais un lieu de conflits à l'instar des domaines terrestre, maritime, aérien et cyber. La récente destruction d'un satellite par un missile indien est là pour le rappeler, tout comme la présence de satellites espions venant « explorer » de près nos moyens spatiaux militaires.

En résumé, l'Espace est aujourd'hui marqué par deux changements majeurs : sa numérisation et sa militarisation.

Innover, toujours

En moins de dix ans, le monde spatial est passé du conservatisme, marqué par une forte aversion au risque des opérateurs étatiques et privés, à un mouvement profond de destruction créatrice marqué par de nouveaux modèles d'affaires, des processus de développement audacieux et des technologies inédites qui apparaissent à un rythme toujours plus rapide. Pour survivre, l'industrie du satellite doit placer l'innovation au cœur de sa stratégie. C'est ce que fait Thales Alenia Space.

Les balbutiements de cette révolution étaient perceptibles dès la fin des années 2000 avec le lancement des constellations de télécommunications mobiles comme Iridium Next. Pour gagner le plus gros contrat de satellites jamais remportés par un industriel européen, environ 2 milliards d'euros, Thales Alenia Space avait déjà dû bouleverser ses processus de conception et de réalisation de satellites. C'était déjà un bel avantage du « New Space » : investisse-

ment privé, production de satellites en grand nombre, liens inter-satellites, intégration de processeurs numériques et de composants non conçus pour le domaine spatial...

Depuis, Thales Alenia Space progresse sur quatre axes d'innovation : les produits, l'industrialisation, l'économie des projets et la culture d'entreprise. Quelques exemples pour l'illustrer :

Transformation numérique

Dans le domaine de l'observation de la Terre, l'IA permet d'automatiser l'extraction de l'information utile des images et ainsi mieux exploiter le volume sans cesse croissant d'informations délivrées par les systèmes spatiaux, tout en maîtrisant le volume de l'intervention humaine. Dans le domaine des télécommunications, l'utilisation de processeurs embarqués s'appuyant sur les dernières technologies de microélectronique permet de développer des satellites flexibles reconfigurables par l'opérateur tout au long de leur vie afin s'adapter aux évolutions de la demande des consommateurs finaux, nous. Désormais, les capacités cyber sont partout, tant à bord des satellites qu'au niveau de leurs segments sol de contrôle et de mission. Pour ce faire, Thales Alenia Space capitalise sur la transformation numérique mis en place par le groupe Thales renforcée par la récente intégration de Gemalto, au travers d'initiatives structurantes comme la « digital factory », Station F ou encore le rachat des sociétés Guavus ou Vormetrix.

Transformation des processus industriels

Pour s'adapter au besoin de ses clients, notamment en termes de réduction des coûts et des délais, Thales Alenia Space a fait évoluer ses processus industriels depuis la genèse des projets jusqu'à leur réalisation en passant par le dialogue avec les donneurs d'ordre. L'avènement du numérique et la généralisation de son déploiement dans le monde industriel a facilité cette transformation avec l'introduction de la robotique, de la cobotique ou encore de la réalité augmentée.

En particulier, la conception des satellites s'appuie sur la création d'un produit complètement virtuel dont on peut optimiser la masse et les performances, et définir toutes les spécificités dès le démarrage du projet en lien étroit avec le client.

Transformation culturelle au sein de l'entreprise

Thales Alenia Space a créé un « Innovation Cluster » dont la mission est d'examiner toutes les idées susceptibles d'apporter de la valeur ajoutée aux clients, différencier son offre de celle de ses concurrents, proposer de nouveaux usages ou idées pour pénétrer de nouveaux marchés. Cette structure légère irrigue tous les acteurs de l'entreprise concernés par la stratégie, le développement et la recherche de nouvelles technologies, de nouveaux processus industriels et de nouveaux produits. En externe, elle est reliée aux marchés, aux acteurs institutionnels et à tous les partenaires potentiels : incubateurs, pôles de compétitivité, PME, start-up...

Thales Alenia Space a aussi développé des partenariats avec des plates-formes d'innovation comme Xplor, créée par Thales au Media Lab du MIT aux Etats-Unis, créé des laboratoires conjoints avec, par exemple, l'Université technologique de Nanyang et Thales Singapour. En France, Thales Alenia Space participe activement aux pôles

de compétitivité SAFE et Aerospace Valley, soutient la création de « boosters » dédiés au développement des services numériques valorisant les données spatiales, mis en place en 2015 par le Cospace, Comité de Concertation Etat-Industrie sur l'Espace.

Au niveau du profil des embauches, de nouvelles compétences sont recherchées comme celles liées au big data, aux « data analytics » ou encore à la cybersécurité.

L'ensemble de ces actions permettent de décroiser les domaines et les acteurs, de bousculer les habitudes et de penser « en dehors de la boîte ».

La transformation des approches économiques des projets spatiaux

Le marché des satellites a toujours été fortement influencé par la puissance publique, essentiellement les ministères de la défense et les agences spatiales des grandes puissances. En complément, depuis une dizaine d'années, ce marché est alimenté par les acteurs essentiellement nord-américains du numérique, des services géo-localisés ou du monitoring de l'environnement.

Dans ce contexte, Thales Alenia Space et sa société sœur Telespazio sont soutenus par leurs deux actionnaires Thales et Leonardo pour se positionner sur les segments de marché en croissance tirés par l'apparition de nouveaux besoins.

Des investissements conséquents ont été décidés dans le domaine des constellations, par exemple :

- L'observation de la Terre à très haute fréquence avec la constellation BlackSky (60 petits satellites) ;
- La surveillance combinée de la Terre et de l'espace avec le développement de la constellation Northstar (40 satellites) ;
- La localisation et l'internet des objets avec le développement de la constellation Kinéis mené par GLS, filiale du Cnes.

Par ailleurs, la question de l'investissement privé se pose désormais dans les services en orbite, sur des problématiques aussi diverses que la gestion et l'élimination des débris présents dans l'Espace, l'inspection des satellites, l'adjonction à mi-vie de charges-utiles supplémentaires, leur recharge en ergol ou encore leur désorbitation. Dans cette perspective, Thales Alenia Space se prépare activement avec le programme Space Start.

Et l'Etat dans tout cela ?

La dynamique d'initiatives privées que l'on observe depuis quelques années dans le domaine spatial doit être analysée à sa juste mesure : elle n'existerait pas sans le soutien massif de la puissance publique en particulier aux Etats-Unis, à travers la Nasa et le Pentagone, et en Chine. Sur le plan mondial, le rapport entre investissements privés et investissements publics dans le domaine spatial est de 1 à 20.

La France, où l'industrie spatiale s'est progressivement construite sous l'impulsion d'une politique d'investissements de long terme de l'Etat, n'échappe pas à ce mouvement. Si cette industrie peut aujourd'hui prendre des risques en lançant des initiatives privées, c'est qu'elle mise sur la poursuite d'un soutien public à cette belle aventure qu'est l'Espace. La conférence ministérielle de l'Agence spatiale européenne de la fin 2019 est une opportunité à saisir par la France pour, très concrètement, confirmer ce soutien en particulier dans le domaine des satellites. ☺



Benoît Hancart,
ICA
Directeur des relations institutionnelles France
Thales Alenia Space

Benoît Hancart (X 87 - ISAE) a débuté sa carrière en 1992 au LRBA dans le domaine de la navigation, puis au sein de différents services de la DGA, et a fait carrière dans le domaine spatial. En 2004, il est nommé attaché d'armement en Italie ; en 2007, il rejoint Thales Alenia Space comme Key Account Manager Défense, puis directeur des relations institutionnelles France.

MON AFFECTATION TEMPORAIRE DANS LE SPATIAL

SALLES BLANCHES, CAISSONS À VIDE, VIBRATIONS ET RAYONNEMENTS

par Toan Nham jr, IA



Costumes dans le spatial : d'une classe ISO8 à une classe ISO5, ce n'est pas vraiment Star Trek !

Affecté depuis deux ans chez Thales Alenia Space à Cannes, un jeune ingénieur de l'armement a eu l'occasion de travailler sur des satellites d'observation optique avec des réalisations d'une extrême précision, et dans une ambiance comprenant des moyens d'essais ou d'assemblage exceptionnels.

Pourquoi a-t-on besoin de salles blanches ?

La performance des satellites d'observation tels que CSO dépend de la finition des optiques qui les constituent. Si l'imperfection des traitements de surface et des techniques de polissage ainsi que les déformations des miroirs comptent pour le premier ordre dans la dégradation de la qualité de l'image produite, les poussières et particules qui s'y déposent présentent également une contribution non négligeable. De manière générale, l'atteinte de la performance maximale implique diverses contraintes quant aux activités d'intégration et essais que l'on cherche à réaliser sous atmosphère contrôlée : ce sont les salles blanches. TAS en possède plusieurs aux environnements différents en fonction des satellites qui sont destinés à y être intégrés.

Les salles blanches de TAS par l'exemple : le cas de CSO

La salle blanche de CSO présente à la fois une petite zone de classe ISO8 relativement peu contraignante (moins de 100 000 particules par pied cube) et une grande zone de classe ISO5 qui l'est beaucoup plus (moins de 100 particules par pied cube). Alors que l'habillement en classe ISO8 ne requiert qu'une charlotte, un cache-barbe,

une blouse antistatique et des surchausses, celui en classe ISO5 impose en plus une double paire de gants, une deuxième paire de surchausses et une combinaison intégrale incluant une capuche, un masque et des chaussures conductrices. Les activités d'intégration sur des électroniques sensibles imposent de surcroît le port d'un bracelet relié à la terre pour éviter les décharges électrostatiques dues à la triboélectricité. On comprend alors rapidement à quel point les conditions de travail en classe ISO5, pourtant nécessaires, sont pénibles.

Les deux classes sont séparées par un marquage visible plutôt que par un obstacle physique, le réel isolement étant réalisé par un mur soufflant empêchant la remontée de particules depuis la classe ISO8 vers la classe ISO5. Un deuxième mur soufflant latéral permet de définir, au sein de chacune des deux zones, des sous-zones où l'on souhaite minimiser la pollution résiduelle. À titre d'exemple, l'intégration des plans focaux de CSO (de larges platines équipées de détecteurs électroniques et placées au niveau des plans de focalisation de l'image), activité critique au regard de la contamination particulaire (une poussière est en effet en

moyenne plus grosse qu'un pixel ; son dépôt sur un plan focal risque donc de compromettre la mission), est réalisée en classe ISO5, au plus proche des murs soufflants.

D'autres contraintes dimensionnent la conception de la salle blanche et ses activités. L'atmosphère doit présenter une hygrométrie à 55% +/- 10% d'humidité relative afin d'éviter la détérioration des colles et des électroniques. Sa température doit être régulée à 20°C +/- 1°C pour des problèmes thermoélastiques et hydriques. Ces critères peuvent être resserrés lors des phases critiques. Quoique leur contribution paraisse indirecte, ils participent à la réalisation de la mission. À titre d'exemple, sans ces contrôles rigoureux, la distance séparant les miroirs primaire et secondaire, réalisée par des barres rigides non insensibles aux effets thermiques et par le collage du secondaire sur son socle, serait mal connue ; or, une erreur d'à peine quelques µm induirait une sévère défocalisation et donc une réduction drastique des performances en vol.

Les grands moyens d'essai

Les satellites sont intégrés à pression et température ambiantes. Avant d'effectuer le tir, coûteux et

irréversible, il est intéressant d'en vérifier le bon fonctionnement au sol et d'en estimer les performances en vol. Pour ce faire, les moyens d'essais sont nombreux et variés.

Leur principal parangon est le caisson à vide sous laquelle peut être réalisé un vide plus ou moins poussé. La représentativité des essais peut être accentuée à loisir : on peut y générer du froid de l'ordre de quelques dizaines de kelvins ou au contraire du chaud pour mimer les cycles thermiques orbitaux, placer la combinaison optique en microgravité pour retrouver le véritable positionnement optique en vol... On y teste le bon alignement des miroirs par le biais d'un collimateur ou d'un interféromètre ou la réponse des détecteurs par le biais d'une sphère intégrante émettant une luminosité uniforme.

Hors de la salle blanche, d'autres salles spécifiques sont parfois utilisées avec les protections appropriées, telles que la chambre acoustique pour mimer les vibrations du lanceur lors du tir, la salle de centrage pour déterminer le centre de gravité de l'Instrument ou encore la salle EMC pour tester son auto-compatibilité électromagnétique. Ces moyens d'essais aux allures folkloriques servent à assurer la robustesse du satellite et son bon comportement aussi bien sur le pas de tir que pendant le lancement et en vol : ce sont eux qui garantissent la performance recherchée par nos armées.

Les autres salles blanches de TAS

Car chaque satellite a sa propre mission et ses propres performances à atteindre, les conditions de propreté imposées lors de l'intégration diffère d'un programme à un autre. Pour CERES dont TAS développe la plate-forme et Syracuse dont TAS est maître d'œuvre du système complet, nul miroir ni détecteur (hors senseurs stellaires)



Deux jeunes IA se retrouvent au lancement du satellite CSO-1 en décembre 2018.

mais plutôt des antennes : la propreté n'est alors qu'un contributeur secondaire et la salle blanche est intégralement en classe ISO8 alors que les contraintes en termes de compatibilité électromagnétique et de décharge électrostatique sont draconiennes. Dans le cas des générateurs solaires dont TAS est un grand fournisseur, on interdira l'utilisation de flashes, ceux-ci ayant la fâcheuse tendance à débrancher les circuits électriques des panneaux. Concernant les modules de stations orbitales terrestre (ISS), lunaire (Gateway) ou les missions martiennes (ExoMars), les contraintes d'intégration sont également adoucies puisqu'elles n'impactent pas fortement la mission.

Les contraintes de confidentialité des programmes Défense réservent automatiquement certaines salles aux satellites militaires, dont la salle blanche CSO qui a autrefois abrité ses aînés Hélios-1, Hélios-2 et Pléiades. Si tout ou partie de la maîtrise d'œuvre du futur successeur de CSO devait être confiée à TAS, ce serait également dans ces locaux que les activités seraient réalisées, sous les mêmes contraintes de propreté qui assureraient la réussite de sa mission. Néanmoins, lorsqu'aucun satellite militaire d'observation n'est en développement (ce qui est le cas environ la moitié du temps), la salle est alors susceptible d'accueillir d'autres programmes optiques.

De la cohérence entre entreprises

La pluralité des domaines auxquels fait appel le savoir-faire spatial et la complexité de leur maîtrise ne permettent guère à une unique entreprise d'avoir la capacité de réaliser l'intégralité de la chaîne d'assemblage des satellites, depuis la conception de chaque brique élémentaire jusqu'à l'intégration finale : chaque livrable est alors confié à un fournisseur différent. Si les entreprises ont à cœur d'ériger des frontières contractuelles entre elles, celles-ci n'ont plus cours en salle blanche, sur le spécimen : les contraintes imposées entre les salles blanches de chaque entité doivent impérativement être cohérentes entre elles pour éviter qu'un équipement pollué ne soit intégré sur une charge utile propre. Au regard de la mission et de son rôle d'interface, c'est donc à la DGA que revient, une fois défini le découpage industriel, de les spécifier au plus juste besoin de la mission. ☺



Toan Nham

X2011, Supaéro. Toan NHAM est en affectation temporaire chez Thales Alenia Space à Cannes où il a exercé la fonction d'ingénieur système pour l'intégration et la qualification de l'instrument CSO avant de continuer en tant qu'ingénieur chaîne image sur les satellites optiques de haute résolution. Son retour à la DGA, prévu fin 2019 dans le pôle ASC, le conduira à travailler sur les systèmes satellitaires du futur.

UN OVNI DANS LE SPATIAL

Alain Bories, ICA

Le nom d'OHB a été propulsé sous les feux de l'actualité lorsque la société a gagné l'appel d'offres pour 14 satellites Galileo en janvier 2010, la faisant entrer dans la cour des grands du spatial, à un moment clef où l'Union Européenne, par le biais de la Commission, est devenue un acteur nouveau du domaine spatial.

Pour comprendre « l'événement Galileo », il est important de connaître l'histoire d'OHB, car si elle est classique dans le « Mittelstand » allemand, elle est atypique dans le landerneau du spatial.



Intégration des satellites Galileo

OHB, PME typique du « Mittelstand » allemand, a connu un développement spectaculaire dans le spatial, mais son développement est la réussite d'une famille d'entrepreneurs passionnés par le domaine spatial, et convaincus de pouvoir « disrupter » les modèles établis.

Dans les atouts du modèle industriel allemand, le « Mittelstand » est toujours cité comme une grande force, enviée par les autres pays, et en particulier en France où le nombre d'ETI est trois fois moindre qu'en Allemagne. Mais on parle surtout de ce « Mittelstand » pour les entreprises de mécanique, fortement exportatrices. Une ETI dans le spatial, familiale de surcroît, c'est le cas plutôt unique d'OHB.

Comme l'a dit ironiquement un grand acteur du spatial européen : « nous étions dans un beau jardin à la française, et soudain, des herbes folles ont poussé ».

Une saga familiale

En 1981, Madame Fuchs rachète la petite société d'hydraulique OHB (Otto Hydraulik Bremen). Fondée en 1958, OHB est active dans le domaine de l'hydraulique. Dans l'histoire officielle d'OHB, le début des activités spatiales se situe en 1985. En fait, il s'agit de l'année où Madame Fuchs embauche son mari Manfred, ingénieur dans le domaine spatial travaillant depuis avril 1961 dans la société ERNO (qui deviendra par la suite Astrium Bremen, puis Airbus) ! Pour mémoire, le vol de Gagarine a eu lieu

le 12 avril 1961 ... et c'est aussi l'année de la création du Cnes !

Ces deux entrepreneurs dans l'âme décident de développer une activité spatiale au sein d'OHB, activité qui deviendra prépondérante jusqu'à éclipser complètement l'hydraulique : en 2000, la société est re-nommée Orbitale Hochtechnologie Bremen (« Haute-technologie orbitale Brême »).

Manfred Fuchs était un visionnaire. Il avait le spatial dans le sang.

Je me souviens de plusieurs anecdotes qui m'avaient fait impression quand j'ai rejoint OHB en 2006. Par exemple quand un jeune ingénieur lui avait fait une présentation Powerpoint d'un projet de satellite. A la fin de l'exposé, Manfred lui fait remarquer que son satellite ne fonctionnera jamais parce qu'il n'a pas assez de puissance ... au vu du dessin des panneaux solaires. L'ingénieur surpris retourne à ses calculs... Manfred avait raison !

A un autre moment, OHB devait recevoir de la DGA le contrat d'échanges d'images entre le système optique français Helios et le système radar allemand SAR-Lupe. Mon interlocuteur DGA m'appelle un jour, désolé parce que la Commission des Marchés allait prendre plus de temps que prévu (rien de nouveau sous le soleil...), et que cela aurait un impact sur la date de mise en service opé-

rationnelle. J'alerte Manfred Fuchs, qui me répond du tac au tac : mais c'est la DGA... On commence sans contrat ! Quelle fut la surprise de mon interlocuteur de recevoir le soir même un fax l'officialisant...

Il y en aurait beaucoup d'autres. Tous les gens qui ont connu Manfred Fuchs ont toujours loué sa finesse d'esprit, sa grande confiance vis-à-vis des gens, son empathie aussi. Il avait la double nationalité (allemande et italienne, il était né à Bolzano), et cela se ressentait, il cumulait les qualités de ces deux peuples.

Le décès soudain de Manfred Fuchs, en 2014, a été un choc pour toute la communauté spatiale, et ses funérailles ont mobilisé bien au-delà de la petite ville de Brême, car il était certainement l'un des mythes du spatial européen. Son histoire a été contée dans un livre (« A Pioneer of Space Flight »).

Mais Manfred Fuchs avait préparé sa succession. Son fils Marco étant dans l'entreprise depuis plus de 20 ans a donc pris les rênes d'une société en pleine croissance, qui a atteint en 2018 le milliard d'euros de chiffre d'affaires et plus de 2 700 employés répartis dans plusieurs pays d'Europe. Exemple rare de succession réussie, le sujet étant toujours un facteur de risque pour les ETI familiales.

Croissance interne : les deux contrats qui ont « fait » OHB

En 2001, une petite société de 120 personnes va secouer « l'establishment » du spatial en remportant le contrat des satellites militaires radar allemands SAR-Lupe, qu'OHB remporte contre toute attente (déjà !) contre le grand du secteur en Allemagne, Dornier (maintenant Airbus Friedrichshafen). Arrêtons-nous un instant sur ce contrat, atypique à plus

d'un titre. D'abord parce que pour la première fois depuis 1945, l'Allemagne intervient dans une opération extérieure dans le cadre d'une coalition internationale, au Kosovo. En réaction au refus américain de fournir des images satellite radar pour traiter ses objectifs (tiens, tiens... On a déjà vécu cela aussi, chez nous, avec Ariane et Helios... Décidément, les Américains nous ont bien aidé à acquérir notre autonomie !), l'Armée allemande décide de posséder ses propres moyens. Manquant de compétences techniques en matière de satellites, et après avoir refusé une offre de Dornier parce que trop coûteuse, elle organise une compétition internationale avec une spécification satellite très simplifiée : un nombre d'images par jour, leur résolution, et la responsabilité du contractant de fournir le service pendant 10 ans... Même le nombre de satellites n'était pas indiqué !

Cette forme d'appel d'offres, très orientée spécifications opérationnelles, a permis à OHB de faire une réponse très innovante. Par exemple en prévoyant cinq satellites là où la spécification pouvait être tenue avec trois, pour éviter d'avoir à relancer un satellite en cas de défaillance et pour économiser sur les assurances... Du « New Space » avant la lettre... Ou en allant chercher une technologie atypique pour ce type de mission, à savoir la technologie altimétrique développée par Alcatel Space (maintenant Thales Alenia Space) pour mesurer la hauteur des océans dans le satellite Topex-Poseidon.

Grâce à cette souplesse de réponse, OHB a pu faire une offre très attractive financièrement, à 315 M€, qui a donc été retenue par le ministère de la Défense allemand. A l'époque, OHB comptait 120 personnes...

La décision du ministère était donc pour le moins... audacieuse. Il n'a pas eu à le regretter, puisque SAR-Lupe a été livré dans les temps et sans dépassement de budget, un cas rare ! Cette performance a beaucoup fait pour la reconnaissance d'OHB comme maître d'œuvre crédible dans le domaine des satellites, la consécration venant avec l'attribution en 2009 par l'Agence Spatiale Européenne (ESA) du statut de « Large System Integrator », aux côtés de Thales Alenia Space et Airbus.

C'est grâce à ce nouveau statut qu'OHB est devenu éligible pour répondre en tant que maître d'œuvre aux appels d'offres Galileo...

GALILEO, une compétition germano-allemande sur les satellites

Bien entendu, Galileo est devenu un emblème de la construction européenne parce que c'est la première infrastructure qui appartient à l'Union, que c'est la concrétisation du rôle qui lui est conféré dans le domaine spatial par le traité de Lisbonne, et qu'aucun pays européen n'aurait pu le réaliser seul. En cela, c'est un symbole, d'autant plus important dans des périodes de doute sur la construction européenne. Il est d'ailleurs symptomatique que le Royaume-Uni a essayé d'en faire un argument dans la négociation du Brexit !

Après plusieurs péripéties (on parle de GNSS2, puis Galileo depuis 1994 !), c'est en 2008 que la Commission lance la procédure d'acquisition pour le déploiement de la constellation, avec le soutien de l'ESA avec qui elle a entre temps signé un accord permettant à l'ESA d'être le maître d'œuvre système de Galileo.



Siège d'OHB à Brême

En séparant en six lots, en interdisant à une même société d'être maître d'œuvre de plus de deux lots, la Commission s'assure d'un maximum de compétition tout en permettant de conserver les grands équilibres entre pays, puisque formellement, contrairement à l'ESA, il n'y a pas de retour géographique dans les appels d'offres de la Commission. C'est dans ce contexte nouveau qu'OHB doit prendre sa décision de se lancer ou non dans la compétition pour le lot satellites, sachant qu'à l'époque, c'était l'une des rares sociétés du spatial qui n'avait pas été impliquée dans le programme.

Plusieurs éléments vont convaincre OHB de se lancer :

- la mise en place par la Commission d'une procédure de dialogue compétitif, qui, par le biais de réponses successives, permet d'affiner et d'optimiser les propositions des compétiteurs pour répondre à un besoin, plus qu'à une spécification fermée. Toutes proportions gardées, c'est un contexte un peu similaire à celui de SAR-Lupe décrit plus haut, car permettant véritablement au maître d'œuvre potentiel d'être une force de proposition dans le processus pour obtenir la « best value for money » ;
- la disponibilité d'une équipe « qui a fait ses preuves » à savoir l'équipe SAR-Lupe, qui avait déployé avec succès une constellation de cinq satellites ;
- la convergence d'intérêts avec SSTL, société qui avait lancé un premier satellite (Giove A) pour occuper les fréquences : un ac-

cord est vite trouvé, OHB étant maître d'œuvre et responsable du satellite, SSTL étant responsable de la charge utile... Une configuration (en termes de nationalités) identique au compétiteur, Astrium Allemagne (maintenant Airbus) et Astrium UK, et respectant les grands équilibres non écrits où l'Allemagne est maître d'œuvre et le Royaume-Uni responsable charge utile ;

- la conviction qu'en tout état de cause, la Commission ne souhaiterait pas mettre « tous ses œufs dans le même panier », les retards récurrents des quatre premiers satellites de la constellation (dits IOV, In-Orbit Validation) incitant à avoir un fournisseur alternatif, au moins pour quelques satellites.

Après une procédure longue, mais fructueuse en termes d'optimisation du système (et donc du coût final), OHB est choisi, à la surprise générale, pour 14 satellites... Beaucoup plus que les quelques-uns d'un fournisseur alternatif ! Commentaire d'un journal de grande diffusion : « La droquerie a gagné contre Carrefour ». Je laisse au lecteur le soin d'en faire l'analyse...

Entre temps, SSTL a été rachetée par ... Astrium, ce qui permet au « perdant », en additionnant la part SSTL et les équipements qu'il fournit à OHB, d'avoir une part plus importante que le maître d'œuvre.

Puis au fur et à mesure des appels d'offres suivants (« batch 2 » de huit satellites, puis « batch 3 » de douze), la constellation est complétée. Aujourd'hui, les 22 premiers satellites ont été livrés en orbite, et permettent au service Galileo d'être déclaré opérationnel, avec des performances supérieures aux spécifications et actuellement meilleures que GPS.

La fin de l'histoire, on ne la connaît

pas encore, car Galileo est maintenant une constellation opérationnelle. La Commission doit en assurer la pérennité, ainsi que la diffusion dans le monde entier. Mais le succès est déjà là, puisque presque tous les smartphones de nouvelle génération ont « Galileo Inside ». La consécration viendra quand on ne parlera plus du GPS, mais du Galileo américain !

En dehors de ces deux contrats emblématiques (et qui font d'ailleurs mentir la croyance de certains qu'OHB eût été « créé » par une quelconque volonté stratégique allemande), la croissance interne s'est faite par une présence accrue sur les grands programmes de l'ESA (Meteosat 3^e génération, programme scientifique Plato, programme de télécommunication SmallGEO, puis Electra - propulsion électrique -) et des agences nationales civiles ou militaires (programmes EnMap et Prisma pour l'observation de la Terre en hyperspectral, programme SARaH en continuation de SAR-Lupe, programmes de satellites militaires optiques Optsat en Allemagne et NAOS au Luxembourg...).

Croissance externe : OHB, acteur européen

OHB a aussi crû par achat de sociétés dans plusieurs pays d'Europe. D'abord en Italie, à cause de la fibre italienne de la famille, avec le rachat de Carlo Gavazzi Space (devenue OHB Italia).

Puis a suivi Luxspace, qui a été créée de toute pièce quand le Luxembourg est devenu membre de l'ESA. Avec 80 personnes fabriquant des petits satellites, c'est un type d'industrie peu répandu au Luxembourg, mais avec une volonté affichée du pays d'être un acteur reconnu du domaine (avec ses ambitions dans le « space mining »).

Puis en 2007, OHB a racheté

« l'autre ETI familiale du secteur », Kayser-Threde, lorsque ses fondateurs ont voulu « passer la main », ce qui est souvent le cas quand la descendance ne peut assumer la suite.

Ont été ensuite acquises Antwerp Space (ancienne filiale de Thales Alenia Space en Flandres) et OHB Sweden (ancienne division systèmes spatiaux de la société étatique Swedish Space Corporation).

OHB vient récemment de s'établir en République tchèque, en Autriche et en Grèce.

Un acteur clef de la filière Ariane

La plus grosse acquisition a été celle de l'activité spatiale de MAN, rachetée en 2005, et devenue MT Aerospace. MTA est le plus gros contributeur non français à la filière Ariane, avec environ 11 % sur Ariane 5 et autant sur le futur lanceur Ariane 6. MTA est également le plus gros actionnaire non français d'Arianespace, avec environ 8 % du capital. MTA est présent sur le territoire français avec 70 personnes à Kourou, le port spatial de l'Europe.

Bien sûr, le sujet de la pérennité du lanceur européen est de ce fait un sujet crucial pour OHB, dans une concurrence exacerbée par l'arrivée de Space X. MTA a fait d'énormes efforts de compétitivité pour diminuer les coûts. La preuve de cet effort a été concrétisée récemment par des contrats remportés sur le marché américain (pas vraiment réputé pour son ouverture !) auprès de Boeing (lanceur SLS) et Blue Origin (New Glenn) ; mais aussi auprès d'ISRO pour le lanceur indien, ce qui, compte tenu des coûts comparés entre l'Inde et l'Europe, est une vraie performance !

MTA développe par ailleurs sur fonds propres un mini-lanceur



Satellite Météosat de troisième génération prévu pour 2021 dont TAS assure la maîtrise d'oeuvre et OHB la plateforme

(classe 200 à 500 kg de charge utile en orbite basse, donc bien en-dessous du lanceur italien Vega, et a fortiori d'Ariane). Avec plusieurs possibilités pour le site de lancement en cours d'évaluation : Andoya en Norvège, Kiruna en Suède, l'île de Santa Maria aux Açores ...et bien sûr Kourou !

Un « pure player » du spatial

OHB a trouvé « sa place au soleil » parmi les acteurs du spatial à force de persévérance, et surtout d'agilité et de compétitivité. C'est bien entendu un défi de conserver ces atouts tout en grossissant, mais la structure familiale permet de conserver une grande réactivité. Une grande autonomie laissée aux filiales européennes autorise aussi une flexibilité importante.

OHB est un « pure player » du spatial, ce qui permet de se concentrer sur un domaine d'excellence. L'activité étant principalement institutionnelle, OHB ne subit pas la décroissance

inéluçtable du marché commercial des télécommunications spatiales.

Grâce à l'irruption de l'Union Européenne dans le paysage, avec plus de 10 milliards d'euros dans le Cadre financier actuel (2014 - 2020) et 16 milliards prévus dans le prochain (2021 - 2028), en sus des budgets de l'ESA, ainsi que la croissance des budgets spatiaux militaires, l'Europe prend enfin conscience de l'importance du spatial pour son économie et sa souveraineté. ☺



Alain Bories,
ICA, Directeur
de la Stratégie et
Développement
du Business de
OHB SE.

Alain Bories (X 76-SupAéro), a commencé sa carrière à la DGA, avant d'intégrer Alcatel où il a occupé plusieurs postes, dans les domaines de la Défense aérienne, de la gestion du trafic aérien, et de la navigation, et de rejoindre la filiale Espace, où il a été en charge de Galileo. Il a ensuite rejoint Thales comme Directeur Espace jusqu'en 2006.

L'AVÈNEMENT DU PLASMIQUE À L'ÈRE DU SATELLITE TOUT-ÉLECTRIQUE

Hervé Bouaziz, ICA

L'éviction de la propulsion chimique des satellites au profit de la propulsion électrique s'accélère, avec des avantages compétitifs forts. Des solutions industrielles mettant en oeuvre des rêves d'ingénieurs, moteurs « ioniques » et surtout « plasmiques à effet Hall » sont arrivées à maturité et répondent désormais aux besoins des fabricants de satellites.



Le beau halo bleu du PPS@5000 en fonctionnement qui signe le Xénon

Depuis son apparition à bord des satellites commerciaux au milieu des années quatre-vingt-dix, la propulsion électrique n'a fait que progresser, et sa part de marché augmenter. Les choses s'accélérent aujourd'hui, et la révolution du « tout-électrique » est lancée. En effet, les premiers propulseurs électriques ne disposaient pas de suffisamment de poussée pour assurer la mise en orbite en un temps raisonnable (OR, *Orbit Raising*). Ils étaient donc cantonnés à la fonction de maintien à poste (NSSK, *North-South Station Keeping*). En outre, ils n'étaient pas considérés comme suffisamment fiables, et ils étaient la plupart du temps redondés par un propulseur chimique à ergol, notamment à l'hydrazine. Nous disposons maintenant de propulseurs électriques suffisamment puissants et fiables pour supplanter totalement la propulsion chimique. C'est d'ailleurs un choix que font de plus en plus les grands systémiers tant sur les gros satellites institutionnels géostationnaires, que sur les constellations émergentes en orbite basse ou moyenne.

Propulseur à « effet Hall » ou propulseur « ionique »

Le principe du propulseur à effet Hall dit « plasmique », est mis au point par un professeur russe dans les années soixante. La poussée y est générée par l'éjection à très haute vitesse d'atomes de Xénon, ionisés par collision avec un faisceau d'électrons issu d'une cathode, focalisés en un plasma dans un champ magnétique, et accélérés dans un champ électrique.

La technologie concurrente est dite « ionique ». Le concept a été breveté en 1920. Là encore, des ions Xénon sont accélérés à grande vitesse, mais entre deux grilles fortement chargées électriquement. Comparé au propulseur plasmique, le propulseur ionique est plus complexe à réaliser, mais il a un meilleur rendement, ou impulsion spécifique, ce qui le rend particulièrement bien adapté au maintien à poste sur des longues durées de vie. En revanche, sa poussée est plus faible, et se révèle inadaptée pour la mise à poste, car la durée de cette phase serait doublée par rapport au plasmique.

Le PPS®5000 de Safran : un concentré de technologies pour quelques grammes de poussée !

C'est l'ancien laboratoire de recherche étatique russe devenu industriel, Fakel, qui met sur le marché les premiers propulseurs électriques à effet Hall. Très vite, Safran (SEP à l'époque) perçoit l'intérêt compétitif de cette technologie, et développe, avec le support institutionnel du Cnes, un premier propulseur de maintien à poste de 1,5 kW : le PPS®1350. Qualifié en 2006, ce produit est utilisé pour la première fois sur une application commerciale en 2013 sur le satellite de télécommunications Alpha-sat, après le succès retentissant de la sonde démonstrateur Smart-1 ayant relié la Lune depuis la Terre avec seulement 80 kg de Xénon !

L'étape suivante est le passage au satellite tout électrique. L'enjeu est considérable. Éliminer complètement les ergols chimiques pour un satellite de communications géostationnaire permettrait de réduire la masse – donc les coûts – au lancement de plus de 40 %, ou d'augmenter la charge utile de 30 %, ou encore, la durée de vie à poste. L'inconvénient est un temps de mise à poste plus long, qui passe d'une dizaine de jours avec une propulsion chimique à environ quatre mois avec une propulsion plasmique, un inconvénient relatif pour des systèmes dont la durée de vie en orbite peut aller au-delà de quinze ans.

« RÉDUIRE LA MASSE AU LANCEMENT DE PLUS DE 40 % »

Décidé à relever ce défi stratégique pour la filière spatiale européenne, Safran poursuit son effort technologique. Des premiers essais d'un prototype de 5 kW de puissance sont réalisés dès 2002. Puis en 2014, toujours avec le support du Cnes, et dans le cadre du Plan d'Investissement d'Avenir qui fait du satellite tout électrique un enjeu prioritaire, Safran lance le développement de son produit phare, le PPS®5000. Ce propulseur à effet Hall dispose d'une large plage de régulation, entre 2,5 kW et 5 kW, générant une poussée allant de 10 à 30 grammes. C'est un concentré de technologies, conçu pour supporter les chocs et vibrations intenses pendant les quelques secondes du lancement, assurer ensuite le transfert d'orbite à pleine puissance sur plusieurs semaines, et enfin, un contrôle orbital durable sur quinze ans. Après avoir passé avec succès les qualifications en environnements mécanique et thermique, le PPS®5000 est actuellement en phase de qualification en endurance fonctionnelle. Cette phase qui vise à démontrer la tenue de la performance sur toute la durée de vie opérationnelle, a commencé il y a plus d'un an, et doit se terminer fin 2020. Le niveau de qualification atteint permet déjà de livrer des matériels pour le transfert géostationnaire, et des premiers PPS®5000 ont effectivement été livrés à Boeing début 2019. Le succès commercial de ce produit est arrivé très vite, et le carnet de commande pour 2019 et 2020 est déjà plein. Pour assurer la montée en cadence industrielle, Safran a investi dans une nouvelle unité de production sur le Campus de l'Espace à Vernon (ex-site du LRBA), avec une nouvelle salle blanche de 200 m².

Une filière stratégique, Safran leader européen

A l'échelle internationale, les acteurs crédibles de la propulsion électrique des satellites sont peu nombreux. L'acteur historique russe Fakel reste le numéro un mondial, avec sans doute plus de trois cents propulseurs lancés, et une présence chez tous les systémiers. De l'autre côté de l'Atlantique, le leader est L3 Technologies, héritier de la technologie Hughes et partenaire historique de Boeing. L3 ne propose cependant que de la propulsion ionique, à laquelle l'avènement du « tout-électrique » fait perdre du terrain. Il existe d'autres acteurs ayant des parts de marché plus limitées, comme les américains Aerojet et Busek, installés sur le segment des propulseurs à effet Hall, avec quelques unités en orbite, ou Ariane Group, qui développe en Allemagne un moteur ionique, ou encore des *start-up* comme Exotrail ou Thrustme qui travaillent sur des tous petits propulseurs pour nano-satellites. Ainsi, Safran fait clairement figure de numéro deux mondial et de leader européen.

Vu la taille du marché des satellites, plutôt en contraction ces dernières années sur le segment du géostationnaire, et les coûts de développement élevés liés à des technologies de pointe et des durées de qualification très longues, il y a peu de place pour l'émergence de nombreux acteurs. La présence de trois leaders, un russe, un américain et un européen, fait sens. L'émergence du marché des constellations ou « méga-constellations » de plusieurs centaines de petits satellites est susceptible d'amener d'autres débouchés significatifs en volume, mais avec une forte pression sur les prix. Safran développe sur ce créneau un nouveau propulseur, le PPS®X00, d'une puissance de quelques centaines de watts avec une conception et des technologies simplifiées, ainsi que le recours à

la fabrication additive, pour réduire drastiquement les coûts. De l'autre côté du spectre de puissance, Safran prépare aussi des applications futures plus ambitieuses, liées par exemple à l'exploration lointaine, et a fait tourner au banc en 2011 un prototype de 20 kW développé dans le cadre des programmes de recherche européens.

Disposer d'une filière de propulsion plasmique est un enjeu stratégique de premier plan. Les industriels s'attèlent à relever ce défi essentiel en développant des solutions technologiques performantes et compétitives. Mais le soutien des acteurs institutionnels, Cnes, DGA, ESA et Union Européenne, reste, *in fine*, indispensable, pour les aider et donner à la France et à l'Europe un accès indépendant à l'Espace. ☺



Le PPS®5000 en production série



Hervé Bouaziz,
ICA, Directeur
des Programmes
Militaires chez
Safran Aircraft
Engines

Breveté pilote militaire, Hervé Bouaziz intègre le Centre d'Essais en Vol de la DGA, puis le Service des programmes aéronautiques. Après un passage aux Etats-Unis (ICAF, Ambassade), il entre chez Safran en 2010 en tant qu'adjoint au DG Défense et Sécurité, puis Directeur Stratégie Safran Electronics and défense.

ASSURER LES SATELLITES ?

UN MARCHÉ TECHNIQUE À HAUTS RISQUES

Guillaume de Dinechin

Même si le secteur spatial a atteint une grande maturité technique, le lancement d'engins spatiaux et leur opération en orbite restent risqués. Leur prise en charge met en oeuvre une syndication très technique pour couvrir des enjeux financiers de grande ampleur et des risques exceptionnels.

D'un point de vue financier, la situation est singulière car ces infrastructures d'une grande complexité technique, immobilisant des centaines de millions de dollars sont soumises au risque de destruction immédiate, avec une probabilité d'occurrence plus élevée que dans aucun autre secteur industriel. Les marchés financiers étant fort inventifs, le marché de l'assurance spatiale s'est développé dès le début des activités spatiales à caractère commercial, vers le milieu des années 1970. Il a atteint aujourd'hui un vrai niveau de maturité, même s'il est resté confidentiel, très technique et très volatil.

Confidentiel et syndiqué

C'est un marché confidentiel car acheteurs autant qu'assureurs sont peu nombreux. Les acheteurs sont essentiellement les opérateurs de satellites (globaux comme Intelsat, SES, Inmarsat ou Eutelsat, régionaux comme Hispasat, Telenor, Telesat, Indosat, Singtel, etc.) qui couvrent la valeur comptable de leur flotte lors des lancements ou pendant la vie en orbite des satellites. Dans une moindre mesure, fabricants de satellite et sociétés de lancement y ont recours pour protéger les obligations contractuelles de succès de mission ainsi que certains utilisateurs pour couvrir les pertes d'exploitation que provoquerait l'échec du satellite qu'ils utilisent. Beaucoup des organes de Défense des pays occidentaux viennent maintenant à l'assurance spatiale pour garan-

tir la stabilité de leurs ressources opérationnelles en orbite dans un contexte de réduction des budgets militaires. Côté assureurs, on trouvera les grandes sociétés globales (Allianz, Munich Re, AXA-XL, AIG, Swiss Re), un petit nombre de syndicats du Lloyds (Atrium, Beazley, Hiscox, Brit, etc.) et quelques agences *ad hoc* comme elseCo à Dubai opérant par délégation d'assureurs souhaitant diversifier leur portefeuille dans le spatial. Chacun de ces assureurs entretient une équipe d'ingénieurs spatiaux capables d'analyser une mission de lancement, la configuration d'un satellite, ses modes de pannes et les conséquences opérationnelles d'une défaillance. Ce sont donc environ 25 assureurs, syndicats ou agences qui offrent une capacité opérationnelle globale d'environ 750 M\$. Le terme de « capacité » définit le montant d'assurance disponible pour un événement (par exemple un lancement ou un satellite en orbite). Naturellement la capacité varie en fonction du risque car l'assureur prudent ajuste son exposition à sa perception de la qualité du risque. En raison de la combinaison sévérité, probabilité d'occurrence, sommes en risque, aucun assureur ne couvre à lui seul la totalité d'un risque spatial. Les polices résultent donc toujours d'une syndication. Chaque assureur apporte sa « ligne », c'est-à-dire le montant de son exposition maximale, en fonction de son appétit pour le risque et des conditions de couverture. La somme des lignes constitue la somme



Échec du lanceur Indien GSLV 2010 (Lancement GSAT-5P)

assurée totale. C'est toujours un courtier qui forme les syndications en négociant la participation des assureurs et faisant jouer la concurrence entre eux.

Qu'est-ce qu'un bon risque ?

Une autre particularité du marché spatial est que l'évaluation du risque ou la quantification des dommages n'est possible que sur papier. Il est inutile de montrer à l'expert le satellite au sol, et impossible de le lui faire inspecter en orbite. La souscription ou le règlement des sinistres ne se fait que sur la foi d'une description technique donnée par l'assuré, ou de relevés de télémétrie en provenance de l'espace. La souscription des risques se fonde sur l'analyse technique de chaque satellite, et sur la caractérisation de sa mission sous forme de formule arithmétique dans la police. Cette formule doit permettre de quantifier le montant financier dû par un assureur dans n'importe

quel cas de panne (sous risque de finir en arbitrage si la perte n'est pas correctement représentée par la formule). La formule est propre à chaque satellite en fonction de sa mission (télécom, observation de la Terre, navigation ou autre) et des critères de performance. La formule et les définitions des termes qui la composent s'écrivent souvent en une dizaine ou une quinzaine de pages, dans une complexité croissante accompagnant la complexification des missions et des technologies. Dans ce contexte, un bon risque est d'abord un risque bien compris, c'est-à-dire dont les caractéristiques techniques auront été décrites en grand détail, et la formule de perte bien assimilée par les marchés. Sur ces deux fondements, on dira qu'un risque est bon si le satellite est basé sur des équipements et sous-systèmes bien éprouvés en orbite et abondamment redondés, avec de larges marges de fonctionnement et par un constructeur réputé et transparent et qu'il est mis en orbite par un lanceur bénéficiant de bonnes statistiques de succès.

*« EN 2018, LA SOMME
DES PRIMES ANNUELLES
NE COUVRE PLUS LE
RISQUE MOYEN »*

Volatilité croissante et différenciation

En principe, le fonctionnement de l'assurance est basé sur la loi des grands nombres : les primes d'un grand nombre d'assurés financent un petit nombre de sinistres. Mais dans le cas du spatial, le nombre d'événements est très petit, et le montant des pertes peut être très élevé. Sur environ 2 200 satellites actuellement en orbite, il ne s'en trouve qu'environ 300 à être assu-

rés. Il n'y a guère qu'une vingtaine de lancements assurés chaque année. Or la valeur assurée d'un satellite au lancement est souvent comprise entre 200 M\$ et 400 M\$ et peut dépasser 600 M\$. Lorsqu'une Ariane 5 emporte deux satellites, le montant en risque au lancement peut être supérieur à 750 M\$. Bien sûr, les primes sont élevées en valeur absolue. Mais en pratique, un seul échec peut engendrer une perte supérieure à la totalité de la prime annuelle reçue par l'ensemble du marché. Depuis 2001, le marché a connu une baisse constante des taux pour des raisons externes (faiblesse des marchés financiers et abondance des capacités) et interne (rentabilité propre liée, sûrement, à la maturité des lanceurs et des plates-formes satellites). Ces facteurs ont maintenu la capacité spatiale à un niveau supérieur à la demande et entraîné la baisse des taux par l'effet de la concurrence entre assureurs. En 2003, la prime pour la phase lanceur d'une Ariane 5 (du décollage à la séparation du satellite) se trouvait à plus de 10 % de la somme assurée. En 2019, on achète la même couverture en dessous de 2 %. On comprendra facilement qu'un sinistre à 700 M\$ n'a pas le même impact dans un marché à 10 % qu'à 2 %. Le risque est donc très grand d'un raidissement brutal : en 2005, la somme des primes annuelles couvrait 3,4 fois l'exposition moyenne ; en 2018 elle ne la couvrait plus que 0,7 fois. Il suffit donc désormais de moins d'un sinistre moyen pour mettre le marché en perte. Et de fait, l'année 2018 avec un ratio sinistres/primes estimé à 130 % a été une année de perte. Parallèlement à sa baisse, ou en conséquence de sa baisse, le marché accentue la différenciation entre les risques. Ainsi, alors qu'un lancement Ariane 5 se cote sous 2 %, un lancement Proton, plombé par les échecs de l'industrie spatiale russe, ne trouvera pas d'assureur en dessous de 10 % !

« IL N'Y A PAS DE LANCEUR OU DE SATELLITE COMMERCIAL SANS ASSURANCE »

C'est une tendance nouvelle, car auparavant les « bons » risques subventionnaient les « mauvais ». La différenciation qui s'impose désormais devient un facteur économique fortement différenciant et peut avoir un impact industriel important. Il n'y a pas de lanceur ou de satellite commercial sans assurance. Les marchés pourraient donc, dans un contexte tendu, se retrouver en position d'arbitre en décidant de l'assurabilité – ou pas – de tel lanceur ou tel satellite. ☞



Échec du vol inaugural d'Ariane 5 en 1996 à H0 + 40s, qui emportait quatre satellites de la mission Cluster, d'une valeur totale de 370 millions de dollars



**Guillaume de
Dinechin**

Directeur Général Adjoint de Aon International Space Brokers France (ISB), courtier spécialisé dans l'assurance spatiale. Guillaume de Dinechin (MBA de l'ISG) a commencé sa carrière au centre Spatial Guyanais de Kourou, puis à l'Agence Spatiale Européenne, et MATRA Espace, avant d'intégrer la Direction des Affaires Internationales. Il rejoint ISB en 1998 pour mettre en place de nombreux placements d'assurances pour des opérateurs civils et militaires de satellites de Télécoms, Observation de la Terre ou Navigation.

PRÉVOIR LE TEMPS ET SURVEILLER LE CLIMAT : UN MÊME DÉFI ?

LES SATELLITES D'OBSERVATION MÉTÉOROLOGIQUES OFFRENT DES SERVICES AUX APPLICATIONS VARIÉES

Jean-Christophe Gros, ICA

Aucun météorologiste ne pourrait aujourd'hui se passer d'observations par satellites qui représentent jusqu'à 95 % des données d'entrée des modèles de prévision. En Europe, près de 30 % du produit intérieur brut (PIB) est sensible au temps qu'il fait. Les bénéfices socio-économiques générés par les prévisions s'y montent à plus de 60 G€ par an, soit bien plus que le coût des systèmes d'observation et de prévision mis en œuvre. Les données récoltées sont utiles non seulement aux météorologistes mais aussi aux climatologues et à l'ensemble de la communauté scientifique.

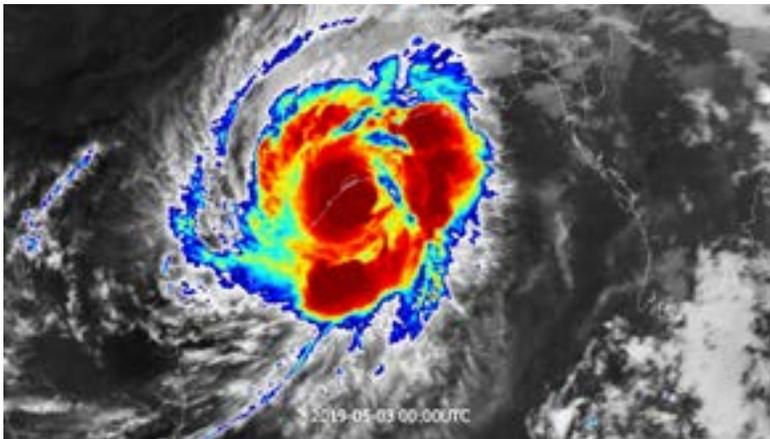


Figure 1 : Cyclone tropical Fani ayant touché l'Inde, Météosat-8, 3 mai 2019 00 :00 UTC
Source : EUMETSAT

Le 1^{er} avril 1960, la Nasa lançait Tiros-1, premier satellite météorologique au monde. Il emportait à bord deux caméras de télévision dont il retransmettait des images. Dix-sept ans plus tard, le satellite européen Météosat était mis en orbite par une fusée américaine. La communauté scientifique dispose ainsi de plusieurs décennies de données précises, globales et continues sur l'état des terres émergées, des océans et de l'atmosphère. Si les météorologistes souhaitent avant tout disposer d'observations les plus fraîches possible afin de recalculer leurs modèles de prévision numérique du temps, d'autres utilisateurs, tels que les climatologues, sont friands de données cumulées

et cohérentes sur de nombreuses années permettant de dégager des tendances à plus long terme.

Une agence « opérationnelle »

Les missions de météorologie nécessitent de fournir des données d'observation aussi récentes que possible et en continu, 24 h/24 et 7 j/7. C'est dans ce contexte qu'en 1986 est établie Eumetsat dont le mandat est de fournir des services de données opérationnels, à la différence de l'ESA ou d'agences spatiales nationales aux spectres d'intervention plus larges et aux missions davantage tournées vers la R&D. Selon les termes de sa convention, Eumetsat a pour objectif premier d'établir, de main-

tenir et d'exploiter des systèmes européens de satellites météorologiques opérationnels. Depuis 2000, ses missions s'étendent de plus à la surveillance opérationnelle du climat et à la détection du changement climatique. Aujourd'hui, l'organisation compte trente Etats-membres : les pays de l'UE – hormis Chypre et Malte – ainsi que l'Islande, la Norvège, la Suisse et la Turquie. Il s'agit d'une entité intergouvernementale dotée de la personnalité juridique. Son siège se situe à Darmstadt (Allemagne), au sud de Francfort. Les Services météorologiques nationaux des Etats-membres en sont les premiers clients et pourvoyeurs de fonds.

Des procédures d'achat efficaces

Eumetsat joue un rôle de maître d'œuvre, en particulier des segments sol des principaux programmes dont elle a la charge, tout en s'appuyant sur l'industrie. Ses procédures d'achat reposent sur les principes de sélection du soumissionnaire le mieux-disant (*best value for money*) et d'absence de retour géographique, contrairement à d'autres agences telles que l'ESA, avec laquelle Eumetsat coopère étroitement.

Quelles applications concrètes ?

Les satellites météo nous livrent des données sur les nuages (altitude du sommet, caractère convectif ou précipitant, type de nuages), les terres émergées (température, zones de gel ou de neige), les océans (température, couleur de l'eau, glaces, circulation océanique et niveau des mers) et l'atmosphère (température, humidité, concentration d'aérosols, concentration de gaz à effet de serre).

Au-delà de la fourniture de données d'entrée aux modèles de prévision à court et moyen termes, les images générées permettent le suivi de phénomènes importants tels que feux de forêt, tempêtes de sable, éruptions volcaniques. Le futur système MTG permettra même la détection d'éclairs depuis l'orbite géostationnaire.



Figure 2 : Eruption du volcan Grímsvötn islandais, Météosat-9/Metop-A, 21 mai 2011, 11 :49 UTC
Source : EUMETSAT

Onze satellites en exploitation – sept nouveaux satellites attendus d'ici à 2025

Eumetsat opère actuellement quatre satellites Météosat en orbite géostationnaire et trois satellites dits « défilants » en orbite basse (800 km) polaire héliosynchrone Metop. Jason-2 & Jason-3, ainsi que Sentinelle-3A & 3B font également partie de la flotte exploitée. La relève est en préparation, avec MTG (Météosat 3^e génération), Metop-SG (Système polaire de seconde génération EPS-SG) et Jason-CS. Cela inclut également les missions Sentinelle-4, 5 et 6 du programme Copernicus de l'UE qui seront opérées par Eumetsat.

Des orbites complémentaires

L'observation à partir de l'orbite géostationnaire permet de réaliser des prévisions immédiates du temps. Ainsi, un satellite Météosat permet l'identification des types de nuages présents sur l'Europe toutes les 5 minutes (cf. animations du bulletin météo télévisé). Les satellites « défilants » en orbite basse, quant à eux, permettent d'alimenter les modèles de prévision jusqu'à 10 jours, ainsi que des prévisions immédiates aux hautes latitudes, inaccessibles par les satellites géostationnaires.

Différents types d'instruments

Côté instruments de bord, on distingue essentiellement les imageurs des sondeurs. Les radiomètres imageurs permettent de transformer les mesures du rayonnement reçu de la Terre en images. Le nombre de canaux des imageurs est typiquement peu élevé (12 canaux sur la génération actuelle d'imageurs Météosat) et les bandes spectrales larges, permettant par exemple de distinguer les nuages. Les sondeurs, quant à eux, possèdent un grand nombre de canaux spectraux permettant de reconstituer des profils verticaux de température et d'humidité, ou encore de composants chimiques de l'atmosphère, tels que la concentration d'aérosols ou de gaz à effet de serre selon le lieu et l'altitude.

Vers le Big Data

A la différence d'autres systèmes satellitaires dont les prises de vue se concentrent a priori sur des zones d'intérêt précises (telles que des zones de crise), les satellites météorologiques acquièrent des données de façon permanente et continue, ce qui a pour effet de générer des volumes de données considérables. L'utilisation de technologies *big data* n'échappe pas à cette évolution, autant pour traiter les données brutes (outils de *streaming* tels que ceux utilisés par les Gafa) que pour permettre aux utilisateurs finaux d'accéder directement à la source des données (*cloud*).



Figure 3 : Centre de contrôle des satellites géostationnaires d'Eumetsat
Source : EUMETSAT

Surveillance du climat et de l'environnement

Les modèles de prévision climatiques, tels que ceux du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), nécessitent de longues séries de données précises, fiables et homogènes sur l'état des océans et de l'atmosphère au niveau mondial. Les satellites météorologiques répondent à ces besoins en renseignant sur les vents, la concentration de poussières atmosphériques, les glaces de mer et températures de surface. Les satellites permettent enfin de suivre en temps réel la composition de l'atmosphère et donc de déterminer et prévoir la qualité de l'air (concentration d'ozone, de SO_2 , NO_x , CH_4 ou CO , par exemple).

Un domaine dual

La météorologie fait partie des secteurs régaliens d'un Etat. Autour

d'un service national gravite par ailleurs un écosystème d'entreprises de services situées en aval de la chaîne de valeur (applications *smartphone* grand public, par exemple). La météorologie revêt de plus un fort caractère dual. En témoignent des applications telles que la sécurité du trafic, l'optimisation de déplacements terrestres, maritimes et aériens, la sécurité des personnes et des biens ou encore la planification et la conduite d'opérations.

Un système européen, voire mondial

En matière de satellites météorologiques, l'Europe joue un rôle de premier plan qu'elle entend conserver. UE, agences spatiales nationales et européennes agissent de concert dans ce domaine. A titre d'exemple, l'ESA et Eumetsat sont étroitement associées au programme Copernicus de l'UE.

Enfin, les Etats-Unis, la Russie, la Chine, le Japon, la Corée et l'Inde disposent eux aussi de systèmes avancés. De nombreuses coopérations sont en place, de façon bilatérale ou sous l'égide de l'Organisation mondiale de la météorologie de l'ONU. Le spectre de coopérations s'étend du simple échange de données à la mise en œuvre de véritables systèmes-de-systèmes structurés. ☺



Jean-Christophe Gros, ICA, Ground Segment Manager, EPS-SG Programme, Eumetsat

Jean-Christophe Gros (SUPAERO 2002) a contribué à différents projets spatiaux, du démonstrateur X-38 de la Nasa à la direction du programme Musis à l'Occar (volet franco-italien), en passant par les études amont DGA relatives à CSO, par l'interopérabilité Helios/SAR-Lupe en Allemagne, ou encore par la fourniture de capacités de communication Syracuse à l'Otan.

PRENDRE DE LA HAUTEUR POUR SONDER LES PROFONDEURS

LA CONNAISSANCE DES OCÉANS PASSE PAR L'ESPACE

Bruno Frachon, IGA

L'Océan est pour certains aspects moins bien connu que la planète Mars : des milliers de monts sous-marins encore à cartographier, des centaines de milliers d'espèces vivantes inconnues. Pourtant, les enjeux ne manquent pas : l'Océan joue un rôle majeur dans la régulation et l'évolution du climat, souligné dans un prochain rapport du GIEC ; les routes maritimes sont à la base de la mondialisation des échanges, et font des espaces maritimes un enjeu de puissance. Or le déploiement de la puissance dans l'espace maritime suppose la connaissance de ce milieu complexe, dont les variations modifient les performances des systèmes militaires que l'on y met en oeuvre. Cette connaissance des espaces maritimes, au cœur de la mission du Shom, a beaucoup progressé grâce à l'espace.

Révolutions technologiques et exploration de l'océan

L'exploration de l'océan a progressé au gré de la succession des révolutions technologiques : la caravelle, le chronomètre de précision pour la mesure de la longitude, la machine à vapeur, le sondeur acoustique. Une rupture majeure a été introduite par l'observation satellitaire il y a une quarantaine d'années, suivant celle apportée dans le domaine de la météorologie. Depuis le lancement en 1978 par la Nasa du premier satellite *Seasat* dédié à l'observation de l'Océan cette révolution s'est accentuée. L'observation satellitaire, par ses combinaisons de couverture spatiale et de récurrence temporelle, est un outil majeur de la connaissance de l'océan.

Que mesure-t-on ? Une affaire de physique

L'observation de l'océan est une question de capteurs, c'est-à-dire une affaire de physique. Les techniques de mesure, imaginées et développées dans les laboratoires de recherche donnent accès à une très grande diversité de paramètres. L'imagerie passive infrarouge des satellites météorologiques, opérés par la NOAA des Etats-Unis ou

l'Agence européenne des satellites météorologiques Eumetsat, fournit la température de surface de l'océan, indispensables à la modélisation de l'atmosphère et de l'océan.

La radiométrie passive, dans les longueurs d'onde bleu-vert, donne aussi accès à la concentration de chlorophylle dans les couches superficielles de l'océan, à la base de la production biologique et déterminante dans la capacité d'absorption du CO₂. Elle permet également d'évaluer la transparence de l'eau, et ainsi la vulnérabilité des sous-marins à la détection optique. Dans les zones côtières peu profondes, des satellites à plus haute résolution, dans cette même bande de longueur d'onde, permettent une cartographie expéditive des fonds sous-marins, adaptée à l'évaluation des modifications apportées par une tempête, à l'exploration de zones reculées et non cartographiées, et à la préparation d'opérations littorales (cf. figure 1). La mesure de la topographie de la surface de la mer par radar au nadir est un des apports majeurs de l'espace à l'observation de l'océan. La précision des observations, accrue grâce aux techniques de traitement du signal et au pro-

grès de l'orbitographie des satellites emportant les radars. Ainsi, le suivi millimétrique du niveau moyen de la mer est assuré en continu depuis le lancement en 1992 du satellite précurseur américano-français *Topex-Poséidon*, suivi par la série des *Jason*, et bientôt les *Sentinel-6* développés en coopération par l'Europe et les Etats-Unis. Outre l'intérêt pour le suivi des effets du changement climatique, ces observations, complétées par celles de satellites analogues opérant à d'autres échelles de temps et d'espace, par exemple les *Sentinel-3* ou le futur satellite *Swot* de la Nasa et du Cnes - dont le radar interférométrique à antenne synthétique améliorera d'un ordre de grandeur la résolution spatiale de mesure -, sont fondamentales pour la détermination de la circulation océanique. Enfin, certaines longueurs d'onde des variations spatiales du niveau de la mer mesuré par les altimètres sont corrélées au champ de pesanteur, lui-même déterminé par les grandes formes du relief sous-marin. Il est alors possible d'inférer l'existence de monts sous-marins non cartographiés par les moyens classiques et pouvant présenter un danger pour la navigation sous-marine (cf. figure 2).

Les mesures micro-ondes actives donnent accès à d'autres grandeurs essentielles pour la compréhension du Système océan et pour les applications opérationnelles : par la mesure de rétrodiffusion des ondes radar par la surface de la mer, comme sur le satellite CFOSat du Cnes et de l'Agence spatiale nationale de Chine, on obtient ainsi des informations quantitatives précises sur la houle et les vagues, couramment utilisées dans les systèmes de prévision et d'alerte météorologiques et aux submersions marines. Certains systèmes, utilisant la synthèse d'ouverture pour une imagerie à haute résolution, offrent d'autres informations opérationnelles, par exemple sur les glaces de mer dans les zones polaires pour la sécurité de la navigation.

Collecter et positionner les mesures

Malgré toutes ces possibilités, l'observation satellitaire de l'océan se heurte à une limitation importante : à l'exception de la bande bleu vert, la très faible pénétration des ondes électromagnétiques dans l'eau ne donne accès qu'à une information superficielle. Elle doit être complétée par des observations *in situ* de l'intérieur de l'océan, réalisées par des navires spécialisés, et, de plus en plus souvent, par des engins autonomes, comme par exemple le réseau Argo de près de 4 000 profileurs dérivants, qui plongent régulièrement jusqu'à 2 000 mètres de profondeur pour échantillonner la colonne d'eau puis remonter en surface transmettre les données collectées : sans les satellites de

communication et les satellites de positionnement, une telle observation en temps quasi-réel de l'intérieur de l'océan serait impossible. Ces fonctions de collecte et de localisation sont même combinées dans le système franco-américain Argos, créé il y a plus de 40 ans et toujours très actif.

Calculer : une affaire d'équations et d'algorithmes

Ces observations *in situ* sont toutefois aussi limitées – avec 4 000 flotteurs, il n'y en a en moyenne qu'un pour 90 000 km² d'océan ! La combinaison de ces observations avec les équations qui régissent le milieu marin est indispensable à l'optimisation de l'utilisation des données satellitaires.

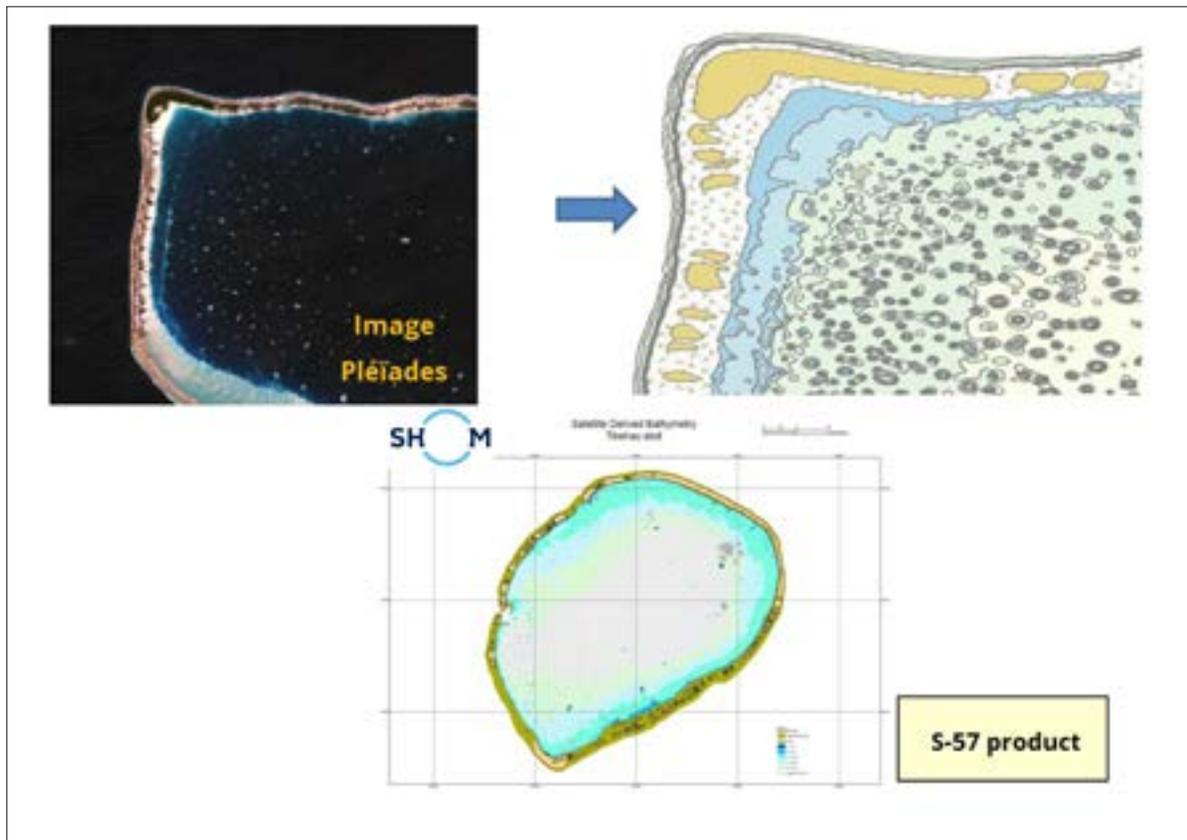


Figure 1 : Traitement bathymétrique d'une image Pléiades : à partir de l'image d'un atoll du Pacifique prise par le satellite Pléiades (en haut à gauche - Cnes) une analyse de la radiométrie dans les canaux bleu-vert permet une estimation de la profondeur (en haut à droite - Shom). Cette information peut être exploitée pour compléter sur les cartes marines les informations obtenues sur le terrain (en bas, exemple de carte électronique ainsi constituée - Shom)

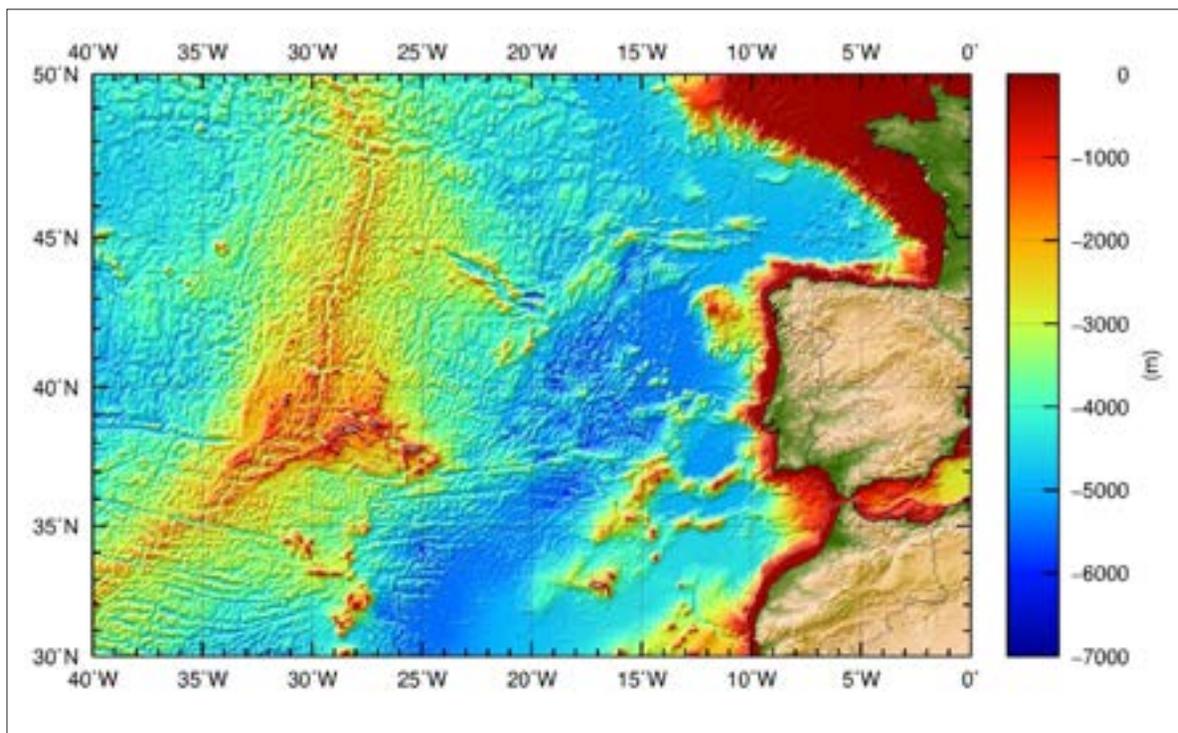


Figure 2 : Carte du relief sous-marin de l'Atlantique orientale, à la résolution de 1'. Les profondeurs sont calculées par exploitation combinée des mesures acoustiques par navires et des variations spatiales du niveau de la mer observées par altimétrie satellitale.

Le niveau de la mer est en effet affecté par les modifications locales du champ de gravité induites par le relief sous-marin. (NOAA-Shom)

Une première approche, l'inversion des données, consiste à utiliser des équations reliant paramètres et observables pour remonter de ces dernières aux premiers ; c'est la technique mise en oeuvre dans le domaine de l'imagerie médicale pour l'échographie ou la tomodensitométrie. Pour la connaissance de l'océan, elle est employée pour la cartographie du relief sous-marin : en eaux peu profondes par inversion de l'imagerie passive dans le visible ; au large, par inversion des variations spatiales de la hauteur de la mer.

Pour les phénomènes dynamiques, la prise en compte des observations dans les équations qui régissent ces phénomènes passe par des techniques d'assimilation des observations dans les modèles numériques construits à partir de ces équations. Ces techniques, développées à l'origine pour la modélisation météorologique, sont utilisées pour l'océan, par exemple dans les modèles utilisés par le Shom pour remplir ses

missions notamment au service de la Défense. Se traduisant par un besoin très important en puissance de calcul, elles sont un domaine très actif de l'analyse numérique.

Le défi des données

La multiplication des satellites et l'augmentation de leur résolution spatiale et spectrale lancent le défi du traitement des « données massives » et celui de leur croisement avec les autres observations ainsi que de leur prise en compte dans les modélisations numériques toujours plus précises. Les questions de l'accès aux données, et de leur exploitation (« océan numérique ») sont désormais au cœur des programmes de connaissance de l'Océan. Sur le premier point, des services d'accès aux données sont créés, comme le pôle de données Odatis pour la recherche, mis en place par le Cnes et le CNRS/INSU, et le service WEKEo opéré par Eumetsat, le centre européen de prévision à moyen terme et Mercator-Océan dans le cadre

du DIAS (*data information access service*) du programme européen Copernicus. Pour ce qui concerne le traitement ou l'exploitation des données, des techniques d'apprentissage profond commencent à être explorées.

L'innovation majeure qu'a constitué l'Espace pour la connaissance des satellites s'en trouve démultipliée, offrant des perspectives scientifiques et opérationnelles nouvelles. ☺



Bruno Frachon,
IGA, Directeur
général du
Service hydro-
graphique et
océanographique
de la marine
(Shom)

De 1982 à 2001, Bruno Frachon a été chef du centre militaire d'océanographie, responsable de la R&D et du soutien météo-océanographique des forces navales. Il a ensuite exercé des responsabilités à la DGA, dont celle de directeur du centre d'analyse technico-opérationnelle de défense (CATOD) jusqu'en juin 2010. Il est directeur général du Shom depuis cette date.

UN JOUR SANS ESPACE : GPS, SATCOM, SCIENCE

ET SI NOUS ÉTIONS PRIVÉS BRUTALEMENT DES SERVICES DONNÉS PAR LES SATELLITES ?

Denis Plane, IGA

Personne ou presque ne craint une coupure prolongée d'eau, de gaz ou d'électricité. Et pourtant lors de la crue du Rhône en 2003 le réseau Rubis des gendarmes, privé des relais hertziens civils qui n'avaient plus d'électricité, a été un moment indisponible : le mode secours ne fonctionne qu'en situation normale, un peu comme ces panneaux d'information SNCF qui devenaient muets en cas de perturbations.

Aujourd'hui les services rendus par les satellites sont acquis avec la même certitude. Et pourtant... Imaginons un jour sans espace, quelle qu'en soit l'origine, tempête solaire comme en 1859, IEM, attaques directes, conflit de fréquences, excès de débris spatiaux¹ ou panne généralisée des stations sol. Plus de GPS, plus de satcom, plus de télévision satellite, et bien pis encore...



Le 18 ne répond plus ; ou plutôt, les services de secours sont désemparés.

Coupure ! Panique dans les OPEX, mobilité compromise

Renseignement et suivi des hostiles, des drones d'observation au suivi à la trace des téléphones, situation tactique, chaîne de commandement, armes guidées : toutes ces capacités sont évanouies d'un coup par perte des liaisons satellite.

Les organismes chargés de la guerre dans l'espace, comme l'US Space Command, sont aux abois. Le principal effet est que les actions et les décisions se prennent localement : les grands chefs s'agitent mais ont perdu le contrôle. Dans un sens ce n'est pas plus mal, pensent certains.

A bord des paquebots, à Sainte-Hélène et ailleurs, on s'agit en vain pour rétablir la liaison. Les avions suivent les procédures de navigation inertielle.

La presse internationale est désemparée, et annonce « bientôt des précisions, restez avec nous ». C'est souvent inutile, puisque les antennes paraboliques ne reçoivent plus rien. Les services de secours tâtonnent un peu, les balises de détresse² sont muettes. Assez vite, le trafic routier est très perturbé, y compris les piétons sur les trottoirs, les UBER sont perdus, les anciens sortent les cartes Michelin et regrettent la CB, et les marins de haute mer cherchent les vieilles calculateuses pour le point au sextant.

T0 + 1 h - La débrouille, les astuces et la politique : le temps des pros

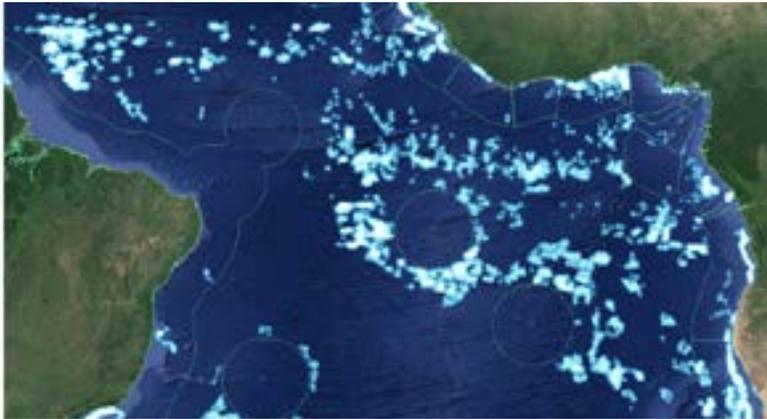
Isolés dans l'ISS, les astronautes annulent les sorties dans l'espace et attendent. Les remontées d'orbite sont en gros mensuelles, il n'y a pas d'urgence.

En Opex, les US déploient le « joint area layered network » et les petits réseaux locaux (WIN-T de l'Army), l'armée de Terre se félicite de comprendre le fonctionnement des radios en répétiteur et les commandants de compagnie donnent l'ordre de limiter les communications au strict nécessaire.

Les DAT (détachements avancés des transmissions des services de

1 : Plusieurs millions identifiés à ce jour d'un effet supérieur à celui d'un éclat de missile antiaérien

2 : Comme le eCall, signal d'urgence à base de Galileo, dont sont équipés tous les véhicules neufs



Suivi des pêches : respect des ZEE de Trindade, Ascension et Sainte-Hélène (ONG Global fishing watch)

renseignement, outre-mer) continuent à recevoir les émissions locales. C'est leur rôle. La DGSE à Saint Christol privée de données hors les rares liaisons troposphériques fait des fiches. Les câbles sous-marins débitent comme d'habitude. On se souvient qu'un seul câble a la capacité de plusieurs dizaines de milliers de satellites, et les messages vers le centre de commandement sont rassurants. Chacun connaît la consigne implicite des unités projetées, qu'elles soient militaires ou industrielles : on ne fait pas remonter les ennuis à Paris, on se débrouille.

Les avions, dont les horaires étaient seulement retardés, sont cloués au sol pour de bon.

Les téléphones sont saturés, à la fois dans les réseaux, plus sollicités par les commentaires, et chez chaque utilisateur, dont les connaissances veulent connaître le sort.

Dans l'industrie du juste à temps, c'est la catastrophe. La *supply chain* est en décomposition, le trafic maritime est inconnu, les livreurs sont perdus.

Dans les champs les sillons zigzaguent en France, et s'arrêtent net dans les grandes exploitations robotisées aux USA. Si c'est la nuit, les labours ou les épandages de pesticides cessent.

Les navires d'exploitation pétrolière doivent fermer les vannes.

Les dictateurs sont accusés d'isoler

leur pays. Donald Trump cherche un coupable. L'Europe convoque des réunions d'urgence. Comme sur un lieu donné nul ne sait où en sont les autres, il se crée un climat d'instabilité politique et internationale.

Par effet domino, une crise bancaire se déclare, déclenchée par les warnings des sociétés de *commodities*.

Certains pêcheurs grâce à la VHF comprennent qu'ils ne peuvent plus être localisés et s'écartent de leurs zones assignées : la guerre des surpêches peut reprendre. Des camionneurs peu scrupuleux « se perdent ».

T0 + 12 h - Time out dans le watchdog

Ce qui a besoin d'une horloge ou d'une synchronisation précise continue sur son erre, et les détections d'incohérence surgissent une à une, le temps ultra précis a disparu.

La téléphonie mobile s'effondre peu à peu. A quelle vitesse ? En fait personne ne sait, cela dépendra autant de la précision des horloges que de la résilience des serveurs face aux logiciels de test.

Les transactions bancaires sont en drapeau, à commencer par les transactions à haute fréquence.

Le défaut d'heure de référence affecte l'interconnexion des réseaux électriques, puis la signalisation routière, ajoutant encore du désordre dans la circulation urbaine.

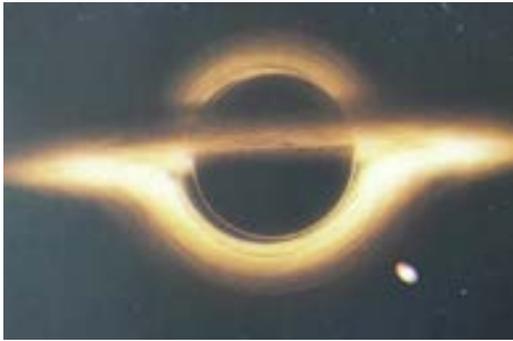
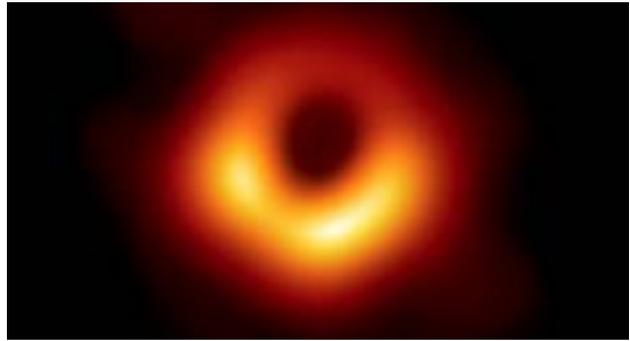
T0 + 24 h - Retour aux sources

De nombreux services continuent à vivre sur les données d'avant : Météo, analyse spectrale des cultures pour optimiser les engrais et les récoltes, contrôle de la politique agricole. Les clients bien sûr s'impatientent et convoquent déjà les avocats.

Les astrophysiciens enragent mais le stock de données passées est tel qu'ils ont du travail pour des années. Colissimo est perdu et reprend la bonne vieille méthode absurde : écrire par courrier « votre adresse n'a pu être localisée. Veuillez retirer votre colis à la Poste ». Partout, l'absence de conscience professionnelle étend sa toile dans les zones humainement fragiles.

Tempêtes solaires

Une tempête solaire les 1 et 2 septembre 1859 (événement Carrington, qui a vu une poussée soudaine des taches solaires) a provoqué un champ magnétique supérieur au champ terrestre, et les champs électriques de surface ont grillé des terminaux télégraphiques et coupé les liaisons, privées de masse stable. La tempête de 2012 a été de même amplitude, mais les flux de particules n'étaient pas dirigés vers la Terre. La modeste tempête de 2011 a perturbé de façon sensible le signal GPS. Une autre conséquence spatiale serait la perte du contrôle à Terre de jitter (bruit de phase) des signaux GPS, suffisante pour que les logiciels de test des avions déclarent le GPS indisponible. L'événement peut être prédit 20 heures à l'avance... par des satellites d'observation du soleil. La probabilité d'occurrence (un par siècle ou par millénaire ?) n'est pas négligeable. Le site *space weather* détaille les divers dangers spatiaux (neutrons, X, astéroïdes...)

Trou noir simulé (2015) $\lambda = 0,5$ micronTrou noir observé (avril 2019) $\lambda = 1$ mm

J + 1 - Rétablir la situation : un jour, un mois, un an... Une reprise très inégale

Les solutions classiques pour pallier ces inconvénients sont connues : redondance, coopération, modes secours. C'est d'ailleurs ce que prévoient les plans de l'Otan. Mais ici, c'est l'échec : l'alternative est souvent l'espace ... ou l'espace ! En réalité le temps sera long, et les capacités d'anticipation (défense spatiale, situation *awareness*) seront affectées : pour six mois, dit l'Otan, ce qui est peut-être un rien optimiste, ou imprécis car cela dépend de la source de l'effondrement de l'accès à l'espace.

En bref, on le voit, de nombreux éléments sont complètement inconnus :

- le temps d'avarie des services une fois rétablie la disponibilité spatiale ;
- l'efficacité des solutions de secours ;
- l'importance réelle de l'espace selon le type d'activité.

Devant ces inconnues, ce qui importe est le discours politique, qui vise la cohésion nationale.

Ce qui fait la différence est la capacité d'adaptation ; le propre de la défense, ose-t-on espérer.

Quelles solutions ?

En parcourant les sites d'information ouverte, on trouve des solutions :

- déclarer le GPS infrastructure nationale critique ;

- évaluer les pertes d'activité et d'investissements et d'emploi ;
- développer de nouvelles technologies pour remplacer le GPS ;
- préparer un plan de secours ;
- analyser les cas passés de brouillage accidentel ;
- consulter tous les acteurs concernés ;
- renforcer le manuel sur le droit international sur l'utilisation militaire de l'espace (MILAMOS).

C'est donc bien dans le discours plus que dans l'action que se placera le jour sans espace !

A long terme des palliatifs listés ... et rarement financés : extraits

Liaisons laser en mer car « la Marine est la plus pénalisée par la rotondité de la terre ». Relance du Loran C, réseaux d'émetteurs radio synchronisés à partir desquels un récepteur peut se positionner sur des hyperboles d'écart de phase.

Solutions dégradées formalisées dans les grands réseaux, électricité, banque, téléphone.

Développement d'un navigateur terrestre à partir de balises et de senseurs inertiels.

Les conséquences inattendues à long terme sont tellement imprévisibles qu'elles pourraient faire l'objet d'un jeu : pénurie de glyphosate, rupture de continuité des mesures de réchauffement climatique, procès en tous sens par les ONG environnementales...

Moralité : l'espace est une clef de ce monde complexe et interconnecté ; l'économie, le politique, la défense et les grandes organisations ne peuvent plus se passer des services communs. Ca vaut bien un effort de souveraineté européenne, non ?

Trou noir, pas d'image

L'image de trou noir dévoilée en avril 2019 n'est pas une véritable image, mais le résultat de traitements interférométriques entre de nombreux radiotélescopes en ondes millimétriques après deux ans de calculs. La base est immense – en gros, le diamètre de la Terre – les données lourdes, plusieurs pétaoctets, et la synchronisation très précise, de l'ordre de la picoseconde. Pour faire mieux, il faudra passer par l'interférométrie spatiale, optique cette fois, de plusieurs télescopes portés par des satellites distants. Sans espace, pas d'image de trou noir !



Denis Plane, IGA

Denis Plane, a commencé sa carrière sous le signe du naval à Toulon puis au STCAN. Passant par les missiles, le service technique des systèmes navals puis le service technique des technologies communes, il dirige la direction des programmes de la DGA jusqu'en 2003.

L'ONERA ET L'ESPACE

DES RÉALISATIONS SCIENTIFIQUES UNIQUES

Bruno Sainjon, IGA

Radars Graves de surveillance de l'espace, optique adaptative, mesures d'écart de masse pour étayer les lois de la relativité générale... trois expériences, presque trois premières mondiales, qui deviennent des capacités stratégiques.



Emetteur du radar Graves

Dès sa création en 1946, l'Onera s'est intéressé à ce qu'on n'appelaient 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. L'objectif premier était à l'époque de maîtriser la construction des missiles stratégiques et tactiques.

Les activités spatiales de l'Onera concernent aujourd'hui principalement : la surveillance de l'Espace,

l'observation de la Terre à des fins militaires et civiles, les missions scientifiques et l'accès à l'Espace. Tous ces sujets font l'objet de « feuilles de route » qui jalonnent les activités de l'Onera dans les cinq à dix ans.

Rien de ce qui se passe dans l'Espace n'est anodin pour la France et disposer d'une capacité souveraine de surveillance de l'Espace et de tenue de situation spatiale extra-atmosphérique est fondamental. En effet celle-ci permet notamment de garantir la sécurité des manœuvres et des opérations spatiales mili-

taires, de protéger nos capacités spatiales et de fournir aux Armées les informations indispensables à la planification et à la conduite des opérations. En outre une capacité de surveillance permet la vérification du respect des traités internationaux relatifs à l'Espace ; elle joue par conséquent également un rôle pour la diplomatie de la France.

Radars Graves : un démonstrateur devenu capacité de souveraineté

La DGA a lancé dès les années 1980 des activités d'étude, de dimensionnement, d'expérimentation et de réalisation de systèmes de surveillance de l'Espace. Le système Graves (Grand Réseau Appliqué à la Veille Spatiale) a ainsi été entièrement conçu et développé par l'Onera, en s'appuyant sur un réseau de PME. A l'origine il s'agissait d'un démonstrateur qui a si bien rempli ses objectifs qu'il s'est transformé en système opérationnel pour un coût total d'environ 30 M€. Graves est basé sur un radar de veille bistatique (émetteur à Dijon, récepteur sur le plateau d'Albion) combiné à des traitements de pistage, de catalogage et d'analyse qui est devenu opérationnel en 2005. Il permet aux Armées de disposer d'une élaboration et tenue autonome de la situation spatiale en orbite basse sur les objets de la gamme du mini-satellite à 1 000 km d'altitude. Depuis sa mise en service opérationnel, il a répertorié et assure le suivi de plus de 2 500 objets spatiaux qui passent au-dessus de notre territoire.

Ce système est sans équivalent actuel en Europe. Il a par ailleurs permis de négocier avec les Américains leur abandon de diffusion des données orbitales des satellites Défense français. Cette réalisation illustre aussi la contribution de l'Onera à la souveraineté de notre pays et à sa diplomatie.

Graves fait actuellement l'objet d'une rénovation qui permettra de prolonger sa vie jusqu'en 2030. Il s'agit à la fois d'une rénovation qui permet – par le remplacement de certains composants et sous-systèmes – d'assurer le maintien du service et d'une augmentation de certaines de ses performances comme l'ajout de fonctions supplémentaires en analyse orbitale.

Le futur : cataloguer des objets spatiaux plus petits à des altitudes plus grandes

L'Onera travaille sur le futur de la surveillance de l'orbite basse, en proposant un système capable de répondre aux enjeux dictés par les évolutions du milieu spatial. Pour l'avenir, il s'agit de disposer des connaissances pour s'adapter à la dynamique des nouveaux objets en orbite, d'améliorer la détection de satellites plus petits et certainement manoeuvrants et de cataloguer des mesures à la fois beaucoup plus nombreuses et plus variées.

Afin d'être en mesure de détecter des objets plus petits il est indispensable de travailler à d'autres fréquences que le système actuel. Alors que Graves fonctionne dans la bande VHF (30 à 300 MHz) le successeur proposé par l'Onera utilisera la bande UHF (300 MHz à 3 GHz). Les performances de ce système autoriseront la détection systématique de nanosatellites de type Cubsat¹ en orbite basse.

Par ailleurs il est envisageable de compléter le système installé en métropole par un module - ayant un champ de surveillance limité à 30° - localisé près de l'équateur. Un tel module autoriserait l'acquisition de données sur les satellites dont les orbites ont une faible inclinaison sur l'équateur. Outre le moyen de détection, de catalogage et de poursuite, la feuille de route de l'Onera comprend des études sur l'observation optronique des satellites géostationnaires, l'observation optronique des satellites qui occupent les orbites intermédiaires telles que les orbites de « navigation », l'imagerie optique haute résolution utilisant une optique adaptative et l'imagerie de satellites au moyen d'un radar SAR inverse.

L'aventure de l'optique adaptative à l'Onera appliquée à l'imagerie de satellite

L'optique adaptative permet de corriger en temps réel les perturbations causées par l'atmosphère terrestre et d'obtenir ainsi une image en haute résolution d'un satellite, ce qui permet d'identifier les sous-systèmes qui le composent et de répondre à la fonction de caractérisation et d'identification d'un objet spatial.

Cette utilisation de l'optique adaptative pour l'imagerie de satellite a une histoire qui illustre le caractère peu prévisible des applications de la recherche et surtout le temps long dans lequel elle s'inscrit souvent. Les premières études sur l'optique adaptative ont commencé au début des années 1980 à la demande de la DGA qui souhaitait étudier la réalité des affirmations des Etats-Unis relatives au projet IDS (initiative de Défense Stratégique) qui prétendait notamment développer - pour l'interception de missiles balistiques en phase propulsée - des lasers de très forte puissance basés au sol, leurs faisceaux étant dirigés vers les



Image prise à 1000 km avec une optique adaptative, télescope de 1,5m

cibles grâce à des miroirs relais placés en orbite. Or les faisceaux laser devaient – dans cette configuration – traverser l'atmosphère et il était indispensable que le faisceau soit d'une qualité optique permettant sa focalisation : autrement dit il était impératif de corriger en temps réel les perturbations optiques dues aux turbulences atmosphériques. Les études de l'Onera ont d'une part démontré le caractère irréaliste à l'époque de l'objectif de destruction d'un missile balistique mais ont surtout permis d'acquiescer et de développer une compétence en optique adaptative qui a fait de l'Office le leader mondial dans ce domaine. Ce sont ces développements qui ont permis une application directe de l'optique adaptative au VLT (Very Large Telescope) de l'ESO et de main à l'EELT pour les applications en recherche astronomique.

Ce sont ces mêmes compétences qui sont mobilisées autour de l'imagerie optronique haute résolution de satellites en orbite basse. L'Onera utilise un télescope de 1,5 m de diamètre équipé d'un système d'optique adaptative comportant notamment un analyseur de surface d'onde et une optique déformable afin de compenser les turbulences occasionnées par l'atmosphère. Les images obtenues font également l'objet d'un traitement pour en extraire le maximum d'informations. Grâce à ce système d'imagerie optique haute résolution, la France dispose au-

1 : Comme celui réalisé par les élèves de l'X

jourd'hui d'images – et même de vidéos – de satellites évoluant en orbite basse.

L'Onera utilise également ses compétences en optique adaptative pour les besoins des télécommunications spatiales optique qui trouveront dans le proche avenir des applications militaires. Des travaux sont également en cours pour des applications de santé publique.

La physique théorique fait appel à une technologie de l'Onera...

La théorie de la Relativité générale en 1919 en fournissant un cadre conceptuel de la gravitation s'appuie sur un principe – appelé Principe d'équivalence – qui postule l'égalité de la masse gravitationnelle et de la masse inertielle. C'est ainsi que ce principe fut vérifié avec des niveaux de précision croissants au cours du XX^e siècle.

L'Onera, avec l'instrument « Microscope », a imaginé de relever le défi de la vérification de ce principe d'équivalence avec une précision inégalée : 10^{-15} . Cela revient à être capable de détecter la variation de masse qui survient lorsqu'une mouche se pose sur un supertanker ! C'est l'exploit réalisé par la mission spatiale « Microscope » qui pousse l'accélérométrie ultra-sensible dans ses retranchements. Deux masses, l'une en platine et l'autre en titane, positionnées au micron près pour éviter les effets du gradient de gravité terrestre, abritées dans satellite zéro g (qui compense la faible traînée sur ce qu'il reste d'atmosphère), thermorégulé, suivent exactement la même orbite... ou pas.

Fin 2017, l'Onera a battu le précédent record de précision de la vérification du principe d'équivalence. Actuellement, les mesures continuent d'affluer pour réduire encore les barres d'incertitude. Alors que



Satellite de l'expérience Microscope

la meilleure mesure n'avait pas été dépassée depuis 10 ans, les premiers résultats du satellite Microscope du Cnes, équipé des accéléromètres de l'Onera, permettent de faire aujourd'hui 10 fois mieux. Ces résultats démontrent, avec une précision de $2 \cdot 10^{-14}$, que les corps tombent dans le vide avec la même accélération, quelle que soit leur composition. Le principe d'équivalence demeurant à ce stade inébranlable, il s'agit rien de moins que d'une nouvelle confirmation de la Relativité générale proposée par Albert Einstein.

L'Onera met ainsi au point les accéléromètres spatiaux les plus précis au monde. C'est ce qui conduit régulièrement le Jet Propulsion Laboratory à faire appel à l'Onera pour les missions de géodésie de la Nasa telles que « Grace », « Goce » et bientôt « Grace follow on ». Ces sujets n'ont pas qu'un intérêt scientifique car la connaissance précise du champ de gravité terrestre est d'une importance capitale pour la précision de la navigation des missiles.

A suivre...

Il existe encore bien d'autres domaines où l'excellence scientifique des équipes de L'Onera leur permet de remporter de nombreux succès dans le domaine spatial, notamment les appels à projets européens. Les trois sujets développés plus haut confèrent à la France une position de puissance spatiale de tout premier plan, disposant de capacités lui permettant de traiter sur un pied d'égalité avec les Etats Unis, voire supérieures. voire au-dessus. ☺



Bruno Sainjon,
IGA, PDG de
l'ONERA

X82, ENSTA, Bruno Sainjon a occupé différents postes à la DGA dans les domaines missile - espace - nucléaire jusqu'en 1996. Conseiller ministériel, notamment pour la coupe du monde de football en 1998 puis à la défense et au SGDSN, il rejoint ensuite SNPE et CELERG dans des fonctions de direction. à partir de 2005, il revient dans les programmes de la DGA et devient directeur des opérations en 2009. Il est nommé PDG de l'ONERA en 2014.

LA DYNAMIQUE TERRESTRE VUE DEPUIS L'ESPACE

COMMENT LES TECHNIQUES SPATIALES SERVENT LES SCIENCES DE LA TERRE, LA MESURE DES MOUVEMENTS DES PLAQUES ET L'ÉTUDE DES SÉISMES EN PARTICULIER

Jean-Philippe Avouac, ICA

Les techniques spatiales, le positionnement par satellite et l'imagerie optique et radar en particulier, ont révolutionné l'étude de la dynamique terrestre et des séismes. Elles permettent de mesurer les mouvements des plaques, les déplacements soudains qui accompagnent les séismes, mais aussi la lente accumulation des contraintes qui les précèdent. Ces mesures fournissent des données importantes pour l'évaluation de l'aléa sismique et le développement de modèles physiques de la rupture sismique.

Les indices géologiques de la dérive des continents, rassemblés dès le début du XX^e siècle par Alfred Wegener, se sont longtemps heurtés au scepticisme des physiciens. Ils avaient du mal à concilier cette théorie avec l'observation que la Terre est un solide élastique qui permet la propagation des ondes de cisaillement comme le montre la sismologie. Cette notion s'est finalement imposée il y a 50 ans, grâce aux progrès dans la connaissance des fonds océaniques et de la sismicité qui ont permis la découverte de la tectonique des plaques. Cette avancée fut permise par le développement des techniques et l'acquisition de données qui avaient été motivés au premier chef par les applications pour la Défense telles que la navigation sous-marine, la détection des sous-marins, ou la détection des explosions nucléaires. On comprend aujourd'hui que les roches qui constituent l'intérieur de la Terre ont des propriétés visqueuses qui permettent le fluage nécessaire au mouvement des plaques et qu'elles sont aussi élastiques et fragiles, permettant la rupture sismique et la propagation des ondes sismiques.

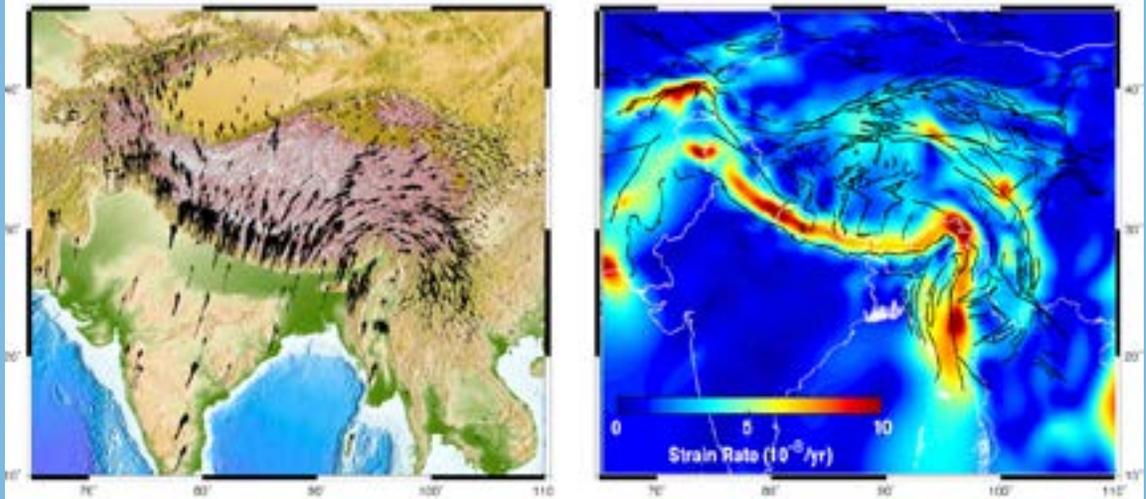
Les techniques spatiales ont depuis lors apporté un lot considérable d'observations qui ont permis

« LES TECHNIQUES SPATIALES NOUS PERMETTENT DE MESURER LES MOUVEMENTS DE SURFACE QUI RÉSULTENT DE LA TECTONIQUE DES PLAQUES ET DES DIVERS PHÉNOMÈNES GÉOLOGIQUES QUI DÉFORMENT L'ÉCORCE TERRESTRE ».

de confirmer la théorie, de quantifier précisément les mouvements des plaques et de comprendre mieux les mécanismes à l'origine de ces mouvements. Grâce aux mesures altimétriques par satellite de la surface des océans, on peut par exemple déduire la topographie des fonds océaniques. Le contraste de densité à l'interface entre l'eau et le plancher rocheux influence en effet de manière mesurable l'équipotentielle du champ de gravité que constitue la surface de l'eau. Ces cartes mettent clairement en évidence les segments de rides, où le plancher océanique se forme et qui permettent aux plaques de se séparer. Elles montrent les zones de fractures qui sillonnent les océans et sont la manifestation des failles reliant les segments de ride. Il en va de même des fosses où le plancher océanique ancien, refroidi et plus dense, s'enfonce dans le manteau terrestre sous l'effet de son propre poids. La mesure du champ de

gravité par satellite nous permet par ailleurs de déterminer les hétérogénéités de densité au sein de la Terre qui sont associées aux mouvements convectifs qui animent notre planète et dont la tectonique des plaques est la manifestation de surface.

Les techniques spatiales nous permettent par ailleurs de mesurer les mouvements de surface qui résultent de la tectonique des plaques et des divers phénomènes géologiques qui déforment l'écorce terrestre. Les systèmes de positionnement par satellite permettent aujourd'hui de mesurer aussi bien les lents déplacements des plaques, qui sont typiquement de l'ordre de 1 à 10 cm/an avec une grande précision (< 1 mm/an), que les déplacements rapides, typiquement de quelques 10 cm/s, qui se produisent à proximité de l'épicentre des forts séismes. La géophysique a, en fait, joué un rôle essentiel dans le développement



Carte des vitesses de déplacement (à gauche) et des vitesses de déformation (à droite) mesurées par GPS dans la zone de la collision Inde - Asie. Les déplacements sont représentés par rapport à l'Eurasie stable. Ces mesures montrent que l'Inde indente l'Eurasie à une vitesse d'environ 4 cm/an. Cette collision est à l'origine du soulèvement du plateau Tibétain et de l'Himalaya. Les déformations sont maximales le long de l'arc Himalayen est il est possible de montrer qu'en l'absence de grand séismes pendant la période des mesures, les déformations de la croûte terrestre aux profondeurs inférieures à 15 km sont élastiques.

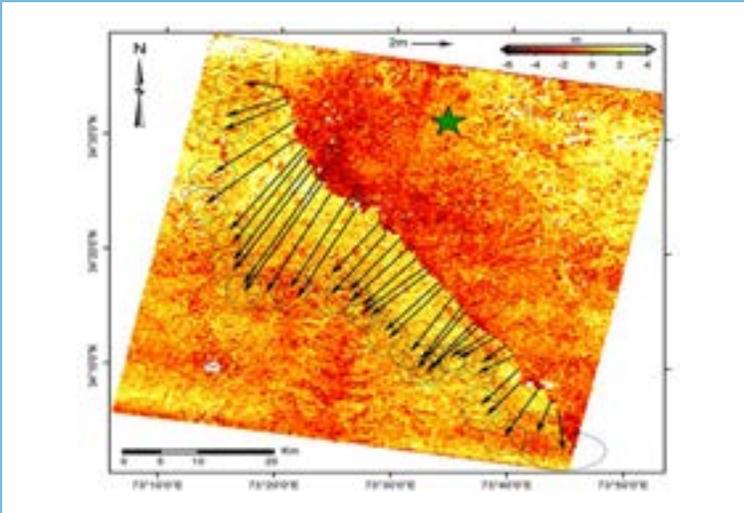
de cette technologie. Les stations GNSS fournissent un positionnement par rapport à des satellites dont les positions orbitales doivent être connues avec précision. Les orbites sont elles-mêmes calculées à partir des positions des satellites par rapport à un ensemble de stations de référence et de la connaissance des forces agissant sur ces satellites, la gravité au premier chef. Il est alors nécessaire de prendre en compte les variations des positions relatives de ces stations de référence, donc les mouvements des plaques. Ainsi la géodésie spatiale est étroitement liée à la connaissance des mouvements des plaques et du champ de gravité terrestre, qui sont des manifestations de la dynamique interne de notre planète.

Les géophysiciens, ceux du Caltech Tectonics Observatory en particulier, se sont largement emparés de cette technologie pour étudier les mouvements des plaques, les séismes et les déformations de surface dues à d'autres phénomènes tels que les glissements de terrain, écoulement de glaciers, le pompage de nappes phréatiques ou d'hydrocarbures. Par exemple, dans le contexte de la collision Inde - Asie (encadré 1), les mesures GNSS montrent clairement une accumulation de contraintes et de déformations qui bordent l'arc Himalayen d'une syntaxe à l'autre. Le relâchement de ces contraintes résulte des séismes chevauchants qui permettent à l'Inde de se glisser sous les reliefs Himalayens par incrément (encadré 2). Une

analyse mécanique assez simple montre que, étant donné la vitesse à laquelle l'énergie élastique s'accumule d'après ces mesures, les plus grands séismes Himalayens doivent atteindre des magnitudes proches de 9 et se produire au rythme d'un tous les 1 000 ans en moyenne. Les mesures géodésiques permettent donc d'identifier les zones de risque sismique et nous renseignent sur les vitesses d'accumulation des contraintes, ce qui nous permet d'évaluer la sismicité nécessaire pour les relâcher à long terme.

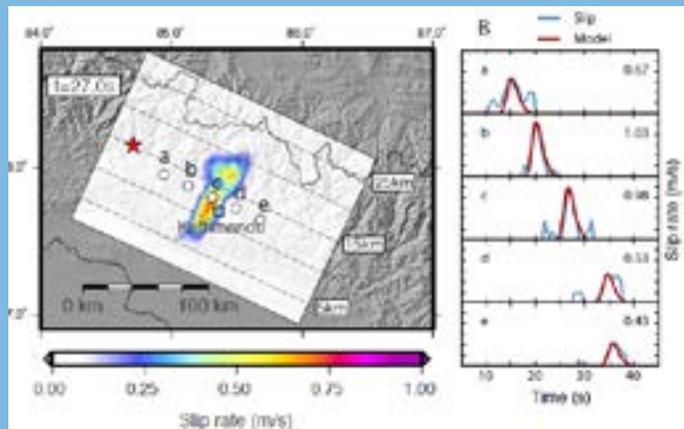
L'imagerie spatiale, optique ou radar, s'est aussi révélée une source d'information fabuleuse pour l'étude de la dynamique de la surface terrestre (encadré 2). La qualité géométrique des systèmes d'imagerie moderne est excellente grâce à la calibration des systèmes optiques et à la détermination précise des positions orbitales et des lignes de visée des télescopes. On peut dès lors mesurer les déplacements du sol susceptibles de s'être produits entre les acquisitions de deux images d'une même scène.

« LES MESURES GÉODÉSQUES ET NOUS RENSEIGNENT SUR LES VITESSES D'ACCUMULATION DES CONTRAINTES, CE QUI NOUS PERMET D'ÉVALUER LA SISMICITÉ NÉCESSAIRE POUR LES RELÂCHER À LONG TERME ».



Déplacements de surface du sol produit par le séisme de magnitude 7,6 du Kashmir en 2005. Ces mesures ont été obtenues par corrélation d'images optiques ASTER d'une résolution au sol de 15 m, acquises avant et après le séisme. Les vecteurs montrent la composante horizontale du glissement sur la faille le long de sa trace en surface. La zone située au nord de la faille a chevauché celle située au sud de 5 m sur une distance de 85 km. Ce séisme s'est produit en moins d'une minute et a causé environ 85 000 victimes.

Propagation de la rupture sismique lors du séisme de magnitude 7,8 qui a frappé le Népal en 2015. Les mesures GPS à haute fréquence d'échantillonnage (5 Hz), combinées aux mesures par imagerie optique et radar permettent d'imager la propagation de la rupture sismique. Elle a démarré environ 75 km au nord-ouest de Katmandu à une profondeur de 15 km (étoile) et s'est propagée vers le sud-est à une vitesse de 2,5 – 3 km/s sur la faille le long de laquelle l'Inde se glisse sous l'Himalaya. Elle atteint le bassin de Katmandu au bout de 30 secondes environ. La rupture s'est propagée sur 150 km en une minute environ. Lors du passage de la rupture sous le bassin, il s'est déplacé de 2 mètres vers le sud et soulevé d'environ un mètre en 10 secondes.



A l'aide de méthodes d'optimisation de leur référencement au sol et de corrélation spectrale « sub-pixel », il est possible de mesurer des déplacements dans le plan de l'image (~horizontal) de l'ordre de la dizaine de centimètres avec des images disponibles publiquement (avec une résolution au sol typiquement métrique, 2,5 m par exemple avec SPOT 5). Les images radar permettent des mesures encore plus précises par interférométrie. Les systèmes en bande C, tels que ceux à bord de la constellation Sentinel-1 de l'ESA, utilisent une longueur d'onde d'environ 5 cm et permettent la mesure des

déplacements suivant la ligne de visée du satellite, donc proche de la verticale, avec une précision de l'ordre du millimètre. Ces mesures ne sont pas toujours réalisables car tout changement des propriétés diélectriques de la surface annihile la possibilité d'une mesure interférométrique.

La combinaison des mesures de la déformation du sol par GPS et imagerie et par la sismologie, nous permet depuis peu de décrire en grand détail les ruptures sismiques lors des grands séismes (encadré 3). Ces observations sont essentielles pour étudier la dynamique

des ruptures sismiques et améliorer les méthodes d'évaluation de l'aléa sismique et les systèmes d'alerte. ☞



Jean-Philippe Avouac, ICA,
Professeur
au California
Institute of
Technology

Jean-Philippe Avouac (X 84, option « recherche ») a créé et dirigé le laboratoire de Télé-détection et Risque Sismique au CEA/DAM de 1991 à 2002. Il a ensuite dirigé le Caltech Tectonics Observatory pendant 10 ans. Depuis 2018, il dirige le centre de recherche de la National Science Foundation « Geomechanics and Mitigation of Geohazards » qui conduit des recherches en partenariat avec l'industrie.



OBJECTIF LUNE

Claudie Haigneré, Ancienne astronaute, conseillère du DG de ESA

chercher des traces de vie ou pour y installer la vie humaine), les autres pour trouver un refuge dans leur fuite d'une Terre menacée, la plupart se concentrent sur un objectif atteignable de notre quête humaine d'expansion au delà de nos territoires plus ou moins maîtrisés.

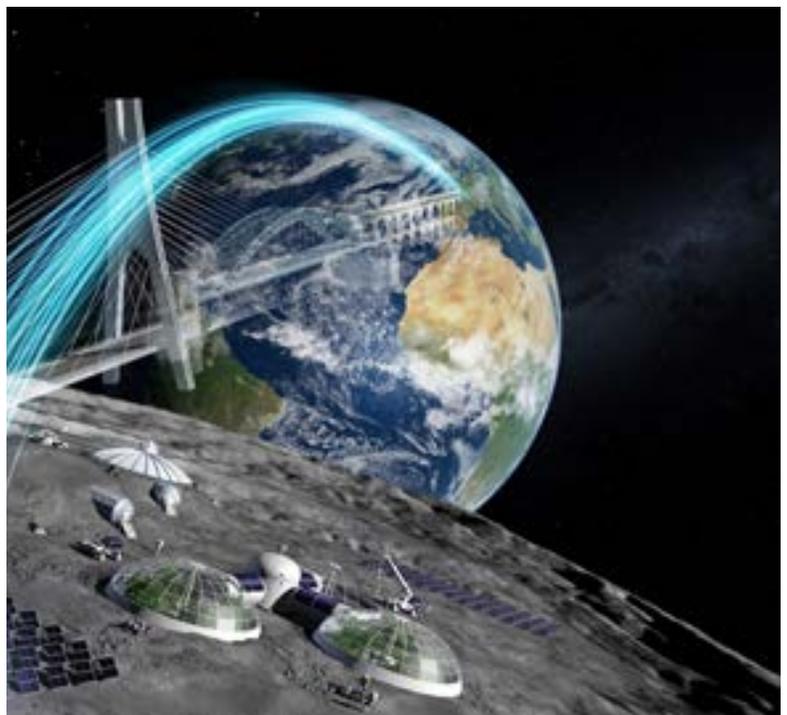
La Lune comme objectif d'expansion pour apprendre à y vivre et travailler durablement dans des infrastructures permanentes. La Lune comme tremplin pour d'autres destinations éloignées. La Lune comme laboratoire d'innovation et de créativité pour mieux répondre aux enjeux mettant au défi notre planète Terre et notre Humanité.

Ne serait-ce que depuis le début de cette année 2019, visant la Lune, on peut évoquer (sans rechercher l'exhaustivité d'une offre florissante) l'atterrissage pionnier

de la sonde chinoise Chang'E4 sur la face cachée de la Lune, l'annonce de multiples missions automatiques vers la Lune cette année (Chang'E5 avec retour d'échantillons, Chandrayan2 pour l'Inde), les démonstrations de capacités technologiques innovantes pour la Lune qu'il s'agisse de lanceurs, de vaisseaux ou d'atterrisseurs (Space X/Starship ou Blue Origin/Blue Moon ou ESM de Nasa/ESA), les velléités lunaires de jeunes pousses (SpaceCell, PTS, Astrobotic...), les prémices d'une économie lunaire autour de l'exploitation de ressources pour utilisation in situ (ISRU) ou pour utilisation terrestre (SpaceResources.lu), les ré-analyses du droit de l'espace au delà du traité « Outer space » des Nations unies de 1967, la mobilisation d'écosystèmes non spatiaux (architectes, énergéticiens, télécom, génie civil, automobile, robotique et IA, logisticiens, tourisme...)

Alors que nous célébrons cette année un des événements majeurs du 20^e siècle, le premier pas de l'Homme sur la Lune en juillet 1969, le 21^e siècle nous plonge dans une transformation radicale du paysage spatial. L'évolution récente voit s'affirmer de nouvelles puissances spatiales institutionnelles (Chine, Inde et autres). Elle confirme la place essentielle de nouveaux acteurs (Space X de Musk ou Blue Origin de Bezos), elle engage des entreprises non spatiales à rejoindre l'aventure, elle inspire de jeunes pousses à innover et convaincre les investisseurs. Les interactions entre puissance publique et entrepreneuriat privé créent de nouvelles alliances qu'elles soient géopolitiques ou économiques.

Aux objectifs scientifiques ambitieux, aux prouesses technologiques, aux récits inspirants des héros et héroïnes pionniers de l'espace habité, qui ont accompagné l'aventure spatiale de la génération Apollo vers les stations en orbite basse, viennent s'ajouter des projets d'expansion de notre humanité vers l'espace lointain. La multitude des acteurs de l'exploration spatiale habitée converge aujourd'hui unanimement vers l'Objectif Lune. Les uns pour préparer la première mission martienne habitée (pour y



Vue d'artiste d'un « Moon Village »



Un village lunaire ouvert à de multiples partenaires, multilatéral, pacifique, fédérateur et inspirant.

A quelques jours d'écart en ce début d'année, ont été annoncés l'objectif par l'agence chinoise d'une base scientifique au pôle Sud de la lune pour 2028 et l'objectif de l'Administration Trump par le vice Président Mike Pence d'un retour sur la Lune pour un équipage américain avec homme et femme (!!!) en 2024. Jeff Bezos avec Blue Moon vient de dévoiler un atterrisseur prêt à atteindre la Lune avec de grosses charges utiles ou même un équipage dès 2023.

Objectif Lune : objet de toutes les ambitions et de tous les désirs. Objectif Lune : objet d'une nouvelle compétition où peut même s'introduire une défiance moins pacifique.

Ou Objectif Lune : objet d'une nouvelle vision pour notre Humanité.

C'est ainsi que je le promeus aux côtés du Directeur Général de l'ESA avec le concept du Moon Village. Arrivant il y a quatre ans aux commandes de l'ESA, Jan Woerner a proposé (en décalage avec

tous les objectifs d'exploration habitée de Mars qui prévalaient dans les plans d'agences spatiales ou les medias en 2015), de prendre en considération un concept global, ouvert de « village lunaire », ouvert à de multiples acteurs (institutionnels et privés), inclusif de la diversité des objectifs (scientifiques, technologiques, économiques), respectueux de l'intérêt général et des intérêts privés, multilatéral, pacifique, fédérateur et inspirant pour une génération Earth mais qui sera aussi la génération Moon.

Certes il s'agira, au delà des contributions technologiques cohérentes et coordonnées des partenaires multiples, de repenser les alliances de cette coopération globale dans un environnement géopolitique, économique, compétitif, complexe et volatil.

Mais n'est ce pas une opportunité à saisir, que de penser sur de nouvelles bases (au propre comme au figuré), le futur et l'expansion de notre humanité, pour ouvrir les possibles plutôt que de les refermer ?

N'est ce pas une opportunité pour l'Europe de contribuer à cet avenir du monde, non seulement par son expertise technologique et son excellence scientifique (celle d'un partenaire fiable et recherché), mais aussi en exprimant et mettant en application sa devise « In varietate concordia » et en assumant un rôle additionnel nouveau, de facilitateur, de médiateur multilatéral et fédérateur ?

Utopie ! Irréaliste concept ! Pourquoi s'interdire de penser demain avec une vision large, responsable et ouverte, avec un regard décalé qui, tout en visant l'inspiration, structure le possible ici et ailleurs.

« Celui qui n'a pas d'objectifs ne risque pas de les atteindre », a enseigné Sun Tzu.

Je n'ai jamais regretté de m'autoriser le rêve. Et j'ai confiance dans la jeune génération qui nous pousse plus avant. « Ceux qui sont assez fous pour penser qu'ils peuvent changer le monde sont ceux qui y parviennent » aurait dit Steve Jobs. ☺

- Envisioning the Moon Village – A Space Architectural Approach Sandra Haüplik-Meusberger, Piero Messina. IAC -18- F1.2.3
 - Wörner, J., ESA Director General Jan Wörner Meets the Press, International Astronautical Federation Global Networking Forum, 66th International Astronautical Congress, 13 October 2015, Jerusalem.
 - How to build a Moon Base. Elizabeth Gibney, 474 Nature Vol 562, 25 Oct 2018
 - Paris Peace Forum, 11-13 November 2018
- Synopsis of the Project "The Vision for a Moon Village : a Multi-Partner Open Concept"
Piero Messina, Claudie Haigneré

LES ENJEUX DU PROJET MARTIEN

Richard Heidmann a été président fondateur de l'association Planète Mars, branche française de la Mars Society, dont il est membre du Steering Committee. Il revient pour la CAIA sur la faisabilité effective d'une implantation de l'homme sur Mars, pourvu que l'on ne soit pas paralysé par une culture du « zéro risque »

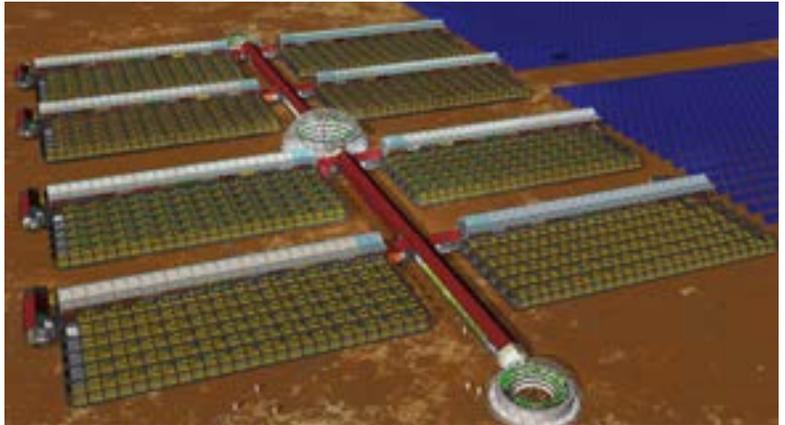
La CAIA : Quelles sont les motivations et les enjeux de l'exploration de Mars ?

Richard Heidmann : Il existe deux types de motivations, auxquels correspondent des projets différents :

- les motivations politiques de renforcement économique, d'influence géostratégique, de dynamisation sociale en diffusant le goût des métiers techniques aux jeunes, un esprit de conquête et d'innovation.
- les motivations philosophiques à long terme (éthiques), qui orientent les opinions sur l'avenir de l'humanité dans l'espace. Dès lors que vous vous interrogez sur les perspectives d'évolution de l'humanité, vous ne pouvez éviter de penser aux conséquences futures de notre accès à l'espace. Sera-t-il source de progrès et de développement ? Si oui, par le biais de quelles activités et découvertes ? Quelle est notre responsabilité concernant la diffusion et la préservation de la vie ? Avons-nous un destin cosmique ? En fin de compte, l'installation sur Mars est-elle bien la première étape qui s'impose ? Réfléchir à ces questions conduit chacun à se positionner.

La CAIA : L'exploration de Mars peut-elle prendre une place privilégiée dans les politiques spatiales ?

R.H : Mars, c'est d'abord un nouveau monde dont nous sommes à l'approche, même si cette popularité n'a pas encore conduit à la décision du grand programme qui va



Dans le scénario d'une première colonie de 1000 résidents, représentation de l'étendue d'un «quartier» capable d'accueillir 200 personnes, avec les surfaces de serres et de panneaux solaires requises.

permettre d'y débarquer. Au-delà de cette attraction, un faisceau de raisons scientifiques (en particulier sur le thème de la vie) et techniques, touchant aux conditions du voyage et du séjour là-bas, font de la Planète rouge la destination d'évidence. Le point majeur est la présence de ressources facilement exploitables et abondantes. Les alternatives ? Vénus est inhabitable (il y fait 400°). La Lune est bien plus facile d'accès, mais sans vie et dénuée de ressources clé présentes sur Mars ; elle pourrait néanmoins être utilisée comme site d'essai et de qualification des équipements requis. Quant aux astéroïdes, leurs perspectives d'exploitation minière restent pour l'instant non démontrables au plan économique.

La CAIA : Alors, qu'attend-on pour y aller ?

R.H : Le voyage et l'établissement humain sur Mars présentent des contraintes et des difficultés, mais les obstacles mis en avant par les opposants sont largement surfaits :

- le coût : en mettant en pers-

pective l'héritage de parties prenantes solidement établies (agences, industrie) et en concevant de manière simple et directe, le budget d'un programme martien n'a aucune raison d'exploser par rapport à ceux consacrés par le passé aux vols spatiaux ;

- les technologies : il est largement inexact de dire qu'il reste à en développer de nouvelles. Le vrai défi est ailleurs : il s'agit, à partir de briques que nous possédons, de construire des vaisseaux et des infrastructures assurant un niveau acceptable de performances et de sécurité, dans les conditions exigeantes d'environnement et de durée du voyage ;
- le risque : le mythe du zéro risque est un piège mortel pour nos sociétés : non seulement il nous coûte très cher et stérilise l'initiative, mais il aboutit parfois paradoxalement à une perte totale de maîtrise ! Il est urgent de reprendre pied sur cette question et un tel projet peut nous aider.

Trois catalyseurs permettront de concrétiser le projet martien :

- la découverte d'indices d'une éventuelle vie martienne (ou d'une chimie prébiotique) ;
- le succès d'initiatives privées (SpaceX, Blue Origin...), qui conduisent les agences et les gouvernements à sortir de leur immobilisme ;
- une prise de conscience de l'intérêt d'un grand programme international sur ce thème.

La CAIA : Quels sont les risques saillants et quelles sont les pistes pour les maîtriser ?

R.H : Les spécialistes mettent en avant deux catégories de risques. La première concerne certains rayonnements :

- ceux causés par des épisodes solaires intenses et brefs, potentiellement mortel. Il est relativement facile de s'en prémunir (ex. écran de 30 cm d'eau ou de polyéthylène) car leur énergie est limitée.
- le rayonnement galactique, à faible flux mais de haute énergie et continu. Il détériore inexorablement notre ADN et nos neurones. Les séjours en ISS sont réglementés de manière à limiter la prévalence de cancers induit à un taux maximal de 3%. C'est bien moins que le risque lié au tabagisme. Le flux interplanétaire est 2,4 fois plus élevé que dans l'ISS : un voyage de 5 mois correspond donc à un an sur l'ISS. Le risque est parfaitement maîtrisable sur Mars en recouvrant les constructions de roche et en gérant la durée des sorties.

La conformité à la réglementation ISS sur les rayonnements est donc possible modulo le risque supplémentaire lié aux épisodes solaires pendant le vol, qui sont imprévisibles et contre lequel l'ISS est

partiellement protégé par le champ terrestre.

La deuxième source de risques réside dans la durée et l'isolement radical. Avec le temps, la probabilité de panne des équipements augmente. Au plan technique, nous avons déjà une grande expérience du niveau de fiabilité à atteindre, grâce à l'ISS. Mais la distance Terre-Mars correspond en moyenne à 8 mn de délai de transmission : c'est long pour proposer des solutions depuis la Terre en situation d'urgence absolue. Il faudra donc une très grande autonomie au plan matériel et humain : complémentarité, inventivité et résistance psychologique des membres d'équipage. Ce n'est toutefois pas complètement nouveau par rapport aux expéditions maritimes.

La CAIA : Comment le risque est appréhendé par les parties prenantes ?

R.H : Le management de projet peut recourir à des approches quantitatives de maîtrise de risques. Elles ne suppriment pas les impondérables et les dérives non observables, ce qui conduit à relativiser les objectifs chiffrés et surtout renvoie à la qualité des équipes, de l'organisation et de la préparation et à la loi du « best effort » en budget contraint. Pour ce qui est des circonstances d'accident sans recours, un objectif chiffré de 1/500, typique pour une sonde spatiale, conduit à un taux observé après mission de l'ordre de 1/100 (1/20 pour Apollo). La difficulté d'une mission sur Mars milite à notre avis de viser au départ un taux observé de 1/20, et de le porter à 1/50 par la suite.

Pour le décideur politique, le risque est un sujet éminemment sensible. A minima il devra obtenir l'approbation formelle du projet (avec ex-

pertises indépendantes), celle des astronautes et du public.

Au niveau sociétal, il faut accepter que l'exploration de Mars ne peut se faire à zéro risque ! Cela renvoie à une question profonde : est-ce que l'on privilégie le confort statique ou le risque afférent aux découvertes ? A chacun de se prononcer. L'exploration spatiale n'est une expression emblématique de ce dilemme universel.

Les astronautes quant à eux, demandent notamment à être impliqués dans les processus de design et de maîtrise du déroulement de programme, et que les risques soient analysés de manière approfondie et gérés selon une approche de « best effort ».

Il reste enfin la question des risques sur la santé, qui milite pour raccourcir le séjour, aménager le vaisseau pour tirer le meilleur parti de ses matériaux (réserves d'eau et d'aliments), voire même intégrer la prévalence au cancer des candidats astronautes dans le processus de sélection et recourir à des approches médicales permettant de renforcer les défenses naturelles de l'organisme. ☺



Richard Heidmann

X-Supaéro, ancien ingénieur de l'Armement, Richard Heidmann a exercé à la Snecma (Safran) diverses responsabilités dans le domaine des moteurs-fusées, en particulier directeur commerce-programmes propulsion à liquides. Il a participé à la genèse, au développement et à la production des lanceurs Ariane.

L'AGENCE DE L'INNOVATION DE DÉFENSE

MISE EN ORBITE EFFECTUÉE

Décidée par Florence Parly, Ministre des armées en mars 2018, l'Agence de l'Innovation de Défense a été créée dans les textes en septembre 2018. La CAIA a interrogé Alexandre Barouh, son directeur adjoint et Jean Meyrat, responsable des tutelles et partenariats pour en savoir plus, avec bien sûr, un focus sur le spatial...

La rédaction : pourquoi une Agence de l'Innovation ?

Alexandre Barouh : La création d'une agence de l'innovation part de deux constats.

Tout d'abord, l'ère du contrôle régalién exclusif d'un ensemble profond de technologies est révolue. Cela dépasse la notion de menace asymétrique posés par des états voyous, car il est facile de se procurer, par exemple des drones, et même un petit groupe bien organisé pourra les armer, se procurer des outils de télécommunication chiffrées, d'attaque informatique, etc. : conséquence inéluctable de la « démocratisation » de nombreuses technologies avancées.

Par ailleurs, dans des domaines pointus comme l'informatique, les biotechnologies ou le spatial, l'initiative n'est pas complètement à la main des gouvernements. Elle est parfois même, en termes de réalisations, concentrée davantage dans celle de ténors de l'informatique comme Google ou Apple, dont la surface financière est considérable, plus largement au sein d'écosystèmes propices à une dynamique forte et protéiforme d'innovation, comme la Silicon Valley.

Il faut donc mieux faire coller les systèmes existants avec l'innovation d'où qu'elle apparaisse, comprendre les tendances susceptibles de modifier la menace, et puiser dans les dynamiques ambiantes pour préparer les ruptures de demain ; et ce, en pratique très vite.

Sur le haut du spectre, composé de développements au long cours au profit des programmes futurs, et d'innovations de rupture et supériorité opérationnelle dans des domaines comme la robotique, l'informatique quantique, l'IA, l'hyper-vitesse ou la cyberdéfense, le dispositif de maturation « top-down » doit être maintenu et même affiné au plan opérationnel et contractuel, pour mieux s'ouvrir sur les innovations externes. La revue stratégique de défense et de sécurité nationale 2017 met le doigt sur le levier numérique, qui permet de décupler la puissance des systèmes, et sur l'évolutivité de ces derniers, en complément de leur durabilité.

Ce levier doit être complété par des approches « bottom-up » visant à susciter, exploiter et intégrer en cycle court les innovations utiles. Pour illustration, le « détournement d'usage » du civil vers des fins terroristes (exemple : drones armés ou espions) constitue un type de menaces contre lequel il faut être en mesure de réagir selon un double impératif de largeur de spectre (imaginer un ensemble large d'utilisations mal intentionnées, puis les analyser et les filtrer en termes de réalisme), et d'agilité (répondre vite à une menace avérée). A contrario, la dynamique d'innovation ambiante crée de nombreuses opportunités de progrès, qu'il convient de pouvoir capter selon le même double impératif. Dans les deux cas, il faut créer une porosité maximale avec les *start-ups*, les centres de recherche

publics et privés, les universitaires, les réseaux d'innovation, etc., en cultivant une logique de réseau et même de réseau de réseaux.

De multiples dispositifs existaient déjà pour susciter et développer l'innovation : Astrid et Rapid, pour soutenir les projets au stade de concept ou un peu plus avancé ; plus récemment Definvest, pour soutenir le développement de PME stratégiques pour la défense ; des concours d'innovation ... sans parler de l'innovation participative pratiquée depuis 30 ans par le ministère. Mais il était devenu impératif qu'un chef d'orchestre apparaisse pour impulser l'optique évoquée ci-dessus de manière plus systématique :

- coordonner ces dispositifs et plus largement orienter et piloter l'innovation au profit des besoins futurs notamment des programmes d'armement ;
- susciter, capter et accélérer les dynamiques d'innovation pertinentes notamment civiles – notamment avec un « guichet unique » d'actions de soutien et l'innovation *defence lab* qui remplace le DGA Lab ;
- accélérer la valorisation et le déploiement des innovations vers ceux qui en ont besoin, plus particulièrement les opérationnels ;
- accompagner l'évolution culturelle au sein du ministère, consistant à passer du zéro risque à un risque maîtrisé dans le cadre d'une politique ministérielle de l'innovation, qu'il convient de « solubiliser » dans les achats.

C'est le rôle de l'Agence de l'innovation de Défense, instituée par arrêté du 30 août 2018, composée de quatre pôles réunissant au total une centaine de personnes (cf. schéma ci-contre).

Au titre de la Loi de Programmation Militaire 2018, elle disposera d'un budget d'innovation de 1 G€ au programme 144 en 2022, contre 730 M€ en moyenne dans la précédente. Elle assurera aussi la co-tutelle des établissements technologiques clé abondés par le programme 191 (recherche duale) : Cnes, part duale du CEA, ISL et Onera.

La CAIA : quelle est la situation dans le spatial ?

Jean Meyrat : Le secteur spatial a été télescopé dans ses composantes traditionnelles (lanceurs en particulier) et régaliennes par la diminution drastique du coût d'accès à l'espace, notamment grâce à des nouveaux *process* industriels, y compris jusqu'à ouvrir le champ des usages civils. Ce domaine illustre donc parfaitement les évolutions mentionnées ci-dessus, avec en particulier l'éclosion d'une offre de tourisme spatial qui emportera probablement à terme une banalisation du spatial en tant que moyen de transport intercontinental.



Organisation de l'AID

NANOSAT ANGELS

Le développement de démonstrateur Angels (Argos Neo on a Generic Economical and Light Satellite), engagé en mars 2017, vise à structurer une nouvelle filière industrielle de nanosatellites (moins de 50 kg) de coûts et délais de réalisation réduits et de flexibilité fonctionnelle accrue, offrant des systèmes plus résilients au bénéfice d'utilisateurs de la Défense, sous forme de constellations.

Cette filière sera particulièrement apte à des missions opérationnelles de type radiofréquences pour la collecte de données (par exemple Argos, AIS) ou la surveillance de spectre, et scientifiques.

La démonstration sera établie dans le cadre d'une mission de collecte de données Argos par un instrument embarqué précurseur d'une nouvelle génération de matériel, dénommé Argos Neo, développé par Thales Alenia Space avec le support de Syrlinks.

L'Agence de l'innovation de défense soutient ce projet par le biais d'un financement sur programme 191, recherche duale.

Le démonstrateur se compose d'un cubesat de taille 12U (12 dm³) embarquant la charge Argos Neo, et des moyens sol de contrôle associés.

La maîtrise d'oeuvre industrielle est assurée par la société Nexeya qui fédère des PME françaises pour la fourniture de diverses composantes du satellite et du segment sol.

L'innovation est disruptive tant au niveau technique qu'au niveau de la gouvernance. La dynamique créée entre le Cnes et Nexeya s'inscrit dans le NewSpace à la française.

Pour atteindre les objectifs fixés, très ambitieux, une gouvernance spécifique a été établie avec notamment un espace de travail en plateau chez Nexeya, réunissant tous les acteurs concernés (Nexeya, Cnes, sous-traitants...), qui devront aussi réformer leurs processus.

Lors du premier Forum Innovation Défense du 22 au 24 novembre 2018 à la Cité de la Mode et du Design à Paris, Jean-Yves Le Gall, Président du Cnes, a présenté le programme Angels à la ministre des Armées.

Le satellite devrait être lancé fin 2019.

Le « newspace » nous pose donc un énorme défi, à la fois concret, parce qu'il apporte des solutions nouvelles très compétitives, et profond, parce qu'il remet en cause un postulat qui s'était inscrit de manière plus ou moins explicite dans notre culture : « le spatial c'est cher et on n'a pas droit à l'erreur ». Dans ce contexte, très peu de choses peuvent être considérées comme acquises et éternelles.

Mais on peut aussi discerner dans cette effervescence, comparable aux années vingt pour l'automobile (Ford), un formidable gisement d'opportunités. Au sein de l'ADI, nous avons une appétence forte pour voir le verre à moitié plein.

Par exemple, nous soutenons le développement d'une nouvelle filière de nanosatellites à bas coût, NanoSat Angels (cf. **encadré n°1 ci-dessus**).

Nous avons même lancé récemment un premier challenge auprès d'écoles d'ingénieurs, concernant les satellites (**encadré n°2 page suivante**).

Un challenge étudiant sur l'espace

par Massis Sirapian

L'Agence de l'Innovation a organisé entre janvier et mars 2019 un challenge étudiant coordonné par l'Ecole polytechnique, avec pour thème l'IA et l'Espace.



Restitution devant la Ministre le 23 avril 2019

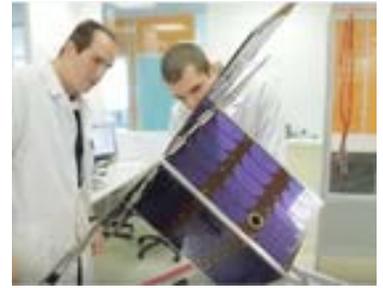
Pourquoi un tel challenge avec des écoles ? Il s'agit d'un moyen inédit d'exploration très rapide à 360 degrés de sujets à basse maturité, selon une approche entrepreneuriale. Il n'était pas attendu un produit ou service fini mais plutôt un débroussaillage sans a priori d'une problématique complexe dans le but de faire émerger des concepts ou cas d'usage. Ce type d'opérations permet aussi de partager et diffuser nos missions et enjeux à l'extérieur de l'environnement Défense. Dans ce cadre, les écoles apportent une ressource intarissable et précieuse, en termes de sang neuf et de regard extérieur.

L'Agence s'est appuyée sur une convention sur le thème de l'entrepreneuriat passée en septembre 2018 avec l'Ecole polytechnique, prenant la forme d'un accord-cadre qui prévoit plusieurs formats d'interventions, dont celui d'une exploration rapide. L'Ecole polytechnique s'est entourée de l'ESCP (école de commerce), de l'Isaé, de l'Ensaé et d'une école de design (ENSCI). Trois groupes de travail réunissant des étudiants de ces écoles se sont constitués le 10 janvier à l'innovation Défense Lab. Ils ont été actifs jusqu'au 21 mars, en dehors des heures de cours.

La problématique confiée par le Commandement Interarmées de l'Espace (CIE) était la suivante : il existe une grande quantité de sources ouvertes concernant le tir de tout type de satellites (fiche de départ de tir aviation civile, photographies d'astronomes amateurs, coupures de presse, etc.). Est-il possible, en recoupant ces sources, de reconstituer plus finement la nature des objets civils ou militaires en orbite, de façon plus fiable que le déclaratif ?

Le résultat de l'un des trois groupes a été présenté à la ministre des Armées le 23 avril 2019, en introduction du Comex ministériel sur l'innovation. Chacun des groupes a exploré des voies radicalement différentes (suivi de la pollution atmosphérique pour détecter les tirs de satellites ; exploitation des réseaux sociaux ; croisement de sources ouvertes plus ou moins officielles). Le SPSA et le CIE ont apprécié de manière unanime la très grande qualité des résultats ainsi que la profondeur d'exploration et l'originalité des approches. L'un des groupes a même été capable d'identifier les satellites « inspecteurs » uniquement en s'appuyant sur des sources ouvertes.

Les retombées de ce challenge consistent notamment en de nouvelles pistes solides apportées au CIE pour aborder la notion de « fiabilité » de la nature d'un satellite, et un renforcement du cadre conceptuel de sa réflexion sur la problématique complexe des débris spatiaux. Des travaux d'approfondissement sont prévus en marge du Salon du Bourget.



Le nanosat Angels

Toutefois, il reste essentiel que nous gardions la maîtrise exclusive de certaines technologies, si nous voulons réellement peser demain dans la constitution d'un nouvel ordre spatial international. ☞

Propos recueillis par Frédéric Tatout



Alexandre Barouh, IGA

Diplômé de l'Ecole Nationale Supérieure de Techniques Avancées Bretagne, l'ingénieur général de l'armement de 2ème classe Alexandre Barouh a assuré la direction de programmes tels que l'hélicoptère d'attaque TIGRE et le « Segment Sol d'Observation » et supervisé le suivi des programmes d'armement Missiles - Drones - Systèmes d'Information - Spatial à la Direction Générale de l'Armement. Il a également été adjoint au sous-chef d'état-major Préparation de l'Avenir de l'état-major de l'armée de l'air et adjoint au chef du service de préparation des systèmes futurs et d'architecture à la Direction Générale de l'Armement. Depuis septembre 2018, il est directeur-adjoint de l'Agence de l'Innovation de la Défense.



Jean Meyrat, ICA

Jean Meyrat, après une première partie de carrière au Shom, notamment comme dirigeant de la Mission océanographique du Pacifique, a travaillé à la DGA en 2009, dans le renseignement, avant de rejoindre la Direction de la stratégie (2016), où il a été chargé de la tutelle d'établissements publics, qu'il poursuit à l'Agence de l'innovation de défense, avec le pilotage des partenariats académiques.

ZODIAC DATA SYSTEMS : L'INNOVATION AU SERVICE DES SOLUTIONS SOL

Jean-Marie Bétermier, ICA

Zodiac Data Systems, désormais filiale du Groupe Safran, est un équipementier français du marché spatial. L'entreprise est spécialisée dans les solutions au sol qui permettent tout type de liaison entre les véhicules spatiaux : lanceurs, satellites gouvernementaux, satellites commerciaux, sondes pour l'exploration lointaine... Ces solutions servent l'ensemble des besoins applicatifs de télémesure, de télécommande, de télécommunications, mais aussi de surveillance du spectre ou d'applications Comint.

Généralement fournisseur de rang 2, la société vend ses produits à tous les grands intégrateurs du marché spatial (Airbus Defense & Space, Thalès Alenia Space, Avio, OHB, Boeing Satellite Systems, MAXAR, Lockheed Martin, Raytheon, NEC, Mitsubishi Electric (Co), CAST, ...). Alliant une approche produit avec un engagement strict de qualité, en 20 ans la société a su transformer certains de ses produits comme le CORTEX en un standard du marché des centres de contrôle.

La société travaille également en direct avec toutes les grandes agences spatiales (Cnes, ESA, Roscomos, Kari, Jaxa, Isro, Nasa, Casc...), qui dynamisent efficacement notre processus d'innovation. Très souvent ils sont les premiers utilisateurs de nos derniers développements comme par exemple la Nasa qui reçoit ses premiers Cortex très haut débit (plus de 6 Gbits/s) pour leur centre de réception en Observation de la Terre, ou l'ISRO qui déploie nos antennes de réception image en bande Ka pour son programme NISAR.

En tant que Président de Zodiac Data Systems, mon challenge quotidien est de conserver notre excellence et de faire croître nos positions sur le marché des acteurs et de nos clients historiques, tout

en dégageant assez d'oxygène à nos équipes pour embrasser pleinement la formidable opportunité de mutation du marché spatial. Ce sont précisément ces nouveaux horizons qui constituent une ressource inépuisable d'inspiration pour trouver de nouvelles innovations adressant de nouveaux besoins.

A ce titre, je peux illustrer le propos avec l'histoire de notre service WeTrack, initialement issu de besoins internes mais qui s'avère désormais adresser tous ces nouveaux besoins spatiaux. Ce service a été en effet mis en place à l'origine pour la détection et la géolocalisation précise au sol des sources d'interférence Radio Fréquence qui viennent perturber le spectre des satellites de communication sur l'orbite géostationnaire. WeTrack est un service commercial produisant des données 24 heures sur 24, 7 jours sur 7 et tout temps. Il fournit les données d'orbitographie et les éphémérides des satellites considérés. Il s'adresse en premier lieu aux opérateurs de services de télécommunications comme Eutelsat, SES, Intelsat,... et aux agences de régulation des fréquences qui veillent au respect du bon usage du spectre. La mesure, à base de capteurs radio-fréquence (RF) déployés au sol, se fait de manière totalement passive en exploitant les

mesures différentielles de temps à l'arrivée (TDOA) des signaux RF émis par les satellites observés.

La première étape dans l'introduction de ce service réellement innovant a été de se rassurer sur la disponibilité et la qualité des données en termes de précision. Des évaluations réalisées dès 2015 par des intégrateurs américains travaillant déjà activement au service du DoD Nord-Américain ont été très encourageantes en termes de précision mais également par rapport à la capacité à détecter les manœuvres et à séparer les trajectoires, notamment dans le cadre de clusters de satellites. La deuxième étape a consisté à packager une offre de service accessible par une interface web (<https://wetrack.space>) à laquelle les clients allaient pouvoir s'abonner au « pay per use » sans passer par la case investissement.

Cette phase a permis de confirmer dès 2016 la disponibilité opérationnelle des mesures et la variété des besoins applicatifs de nos premiers clients. Nous avons été surpris notamment de voir nos clients traditionnels utiliser nos propres Cortex pour leurs applications de ranging et d'orbitographie, puis consommer ces données externes à des fins de calibration de leurs chaînes de réception et de poursuite.



De nouveaux services à apporter aux exploitants de satellites comme WeTrack

En 2017, avec le soutien actif du Cnes et de l'ESA, Zodiac Data Systems a pu étendre les domaines fonctionnels de mesure de ces senseurs RF, avec l'ajout des nouveaux cas d'application pour les orbites LEO, MEO et également les phases LEOP dans le cadre des transferts longs vers l'orbite géostationnaire à partir de propulsion électrique.

Après déjà plus de 4 ans de service opérationnel de WeTrack, il est désormais clair que cette technologie RF apporte des réponses à des demandes bien plus larges que celles initialement adressées pour le monitoring du spectre radio fréquence. En effet l'accélération des usages spatiaux, l'avènement du New Space matérialisant le financement de multiples projets de constellations où le nombre de satellites se compte par centaines voire par milliers, impliquent désormais que les États s'organisent pour gérer cette complexité qui était encore totalement inimaginable à la fin du siècle dernier. Le besoin est désormais confirmé d'établir des nouvelles règles et d'y associer des mesures de contrôle et de régulation pour permettre aux différents acteurs commerciaux et publics d'opérer en liberté

et en sécurité. À l'instar de l'aéronautique, des voix s'élèvent pour prôner la mise en place rapide d'une organisation internationale de régulation de type OACI, et de spécifier et déployer des systèmes de **Space Traffic Management**. En parallèle de cette vision civile et commerciale, les enjeux défense des nations grandissent chaque jour dans l'espace. Des besoins de surveillance à des fins cette fois de sécurité des nations émergent. Il s'agit là de développer une connaissance approfondie des objets spatiaux, de se doter de la capacité de les suivre, de comprendre et de prévoir leur déplacement et les menaces éventuelles qu'ils représentent. On parle alors pour ce nouveau domaine de **Space Situational Awareness (SSA)** comme étant le pilier du **Space Surveillance & Tracking (SST)**. Il est important de noter que les États-Unis sont très actifs dans ces domaines militaires, et que les dernières déclarations présidentielles américaines visent à accélérer l'essor de cette composante spécifique en y allouant soutien politique et d'importants crédits.

Ces nouveaux systèmes de Space Traffic Management et de Space Situational Awareness devront

également s'intéresser à la problématique grandissante de la gestion des débris pour laquelle les senseurs RF n'apportent évidemment aucune solution. Ces nouveaux systèmes consommeront nécessairement beaucoup de data fournies par des senseurs au sol et/ou embarqués. Il s'agira de combiner efficacement les différents types de détection comme en France les radars Graves ou Satam, les senseurs optiques Tarot, et des détecteurs RF comme WeTrack. Nul doute que ces technologies naissantes s'adapteront rapidement pour atteindre les performances et la maturité requises pour l'opération effective de ces nouveaux services.

Les premières évaluations sur l'orbite géostationnaire des services WeTrack de Zodiac Data Systems dans ce nouveau contexte SSA sont déjà très riches d'enseignements. Un suivi régulier, et dans la durée, de satellites « butineurs » comme le Luch-Olymp est désormais effectif. Cette vision plus exhaustive des phases de mission apportera certainement aux spécialistes des informations très utiles pour comprendre les objectifs poursuivis par ce type de véhicule. Il en va de même sur d'autres types de véhicules que l'on découvre voler littéralement en patrouille à des distances très proches de leurs cibles. ☺



Jean-Marie Bétermier,
ICA, Président
de Zodiac Data
Systems

Après un premier poste au Cnes en tant qu'ingénieur de l'armement détaché, puis plusieurs années dans le secteur de la défense, il s'est intéressé à d'autres secteurs de marché comme la sécurité électronique et la billettique. En tant qu'industriel, il a souvent travaillé dans le cadre de projets en relation avec la DGA. Ayant intégré Zodiac Aerospace en 2012, intégré au groupe Safran en 2018, il dirige depuis le Business Group Data Systems.

LA RUPTURE AU SERVICE DES MARCHÉS HISTORIQUES

OU COMMENT LE *NEW SPACE* REPRÉSENTE UNE OPPORTUNITÉ POUR LES MARCHÉS TRADITIONNELS.

Franck Poirrier, IGA

Comment adapter la politique industrielle française pour que les ruptures engendrées par le *new space*, notamment en termes de maîtrise des risques, réduisent les coûts de possession de l'espace « traditionnel » et bénéficient aux marchés historiques ? Sodern, une ETI française a consolidé sa position commerciale mondiale.



Sodern AURIGA, le viseur d'étoiles embarqué sur OneWeb pèse 200g

Spécialiste de l'optronique spatiale, Sodern est un leader mondial historique dans ses domaines d'activité : près d'un tiers des satellites mondiaux aujourd'hui en orbite embarquent l'un de ses équipements. En 2016, cette ETI a créé la surprise en développant un viseur d'étoiles¹ très novateur pour la constellation *new space* de OneWeb. En 2019, Sodern est confrontée à un nouveau challenge : doubler, d'ici fin 2020, sa capacité de production de viseurs d'étoiles traditionnels pour répondre à ses commandes. Il lui faudra pour cela un environnement financier, réglementaire, culturel adapté, en bref, une politique industrielle dynamique.

Forte de plus de 450 salariés, Sodern, fondée en 1962, est un acteur historique du spatial français. En 2018, son actualité fut notamment marquée

par l'arrivée sur Mars de la sonde Nasa InSight, dont Sodern a réalisé les capteurs de l'instrument principal sous maîtrise d'œuvre du Cnes, et par le lancement de CSO-1, dont elle a réalisé le cœur de détection.

Les programmes de défense ou d'instrumentation scientifique se caractérisent par une double exigence d'excellence technologique (y compris en partant d'un niveau de maturité très bas dans le cas des programmes scientifiques) et de fiabilité. La société a naturellement décliné cette approche sur ses programmes commerciaux, ou privés, notamment sur le marché des viseurs d'étoiles haut de gamme, instruments qui permettent aux satellites de s'orienter dans l'espace et dont la précision conditionne les performances du système.

Dès l'émergence du phénomène *new space*, Sodern a formulé l'ambition de devenir, en quelques années, un leader de ce segment de marché dans ses domaines de compétences.

Le pari semble aujourd'hui réussi, grâce au contrat remporté en 2016 pour fournir 1800 viseurs d'étoiles révolutionnaires à OneWeb, mais aussi au développement de nouveaux produits comme des sous-ensembles de terminaux liens laser pour constellations.

Cette réussite a surpris certains salariés, clients et partenaires, pour lesquels Sodern était perçue comme un ancien arsenal spécialisé dans le très haut de gamme.

OneWeb : comment Sodern a-t-elle procédé ?

Dès 2015, Sodern a constitué une start-up interne, sans chef ni limite de budget, composée de spécialistes de la visée stellaire dont la crédibilité a permis de discuter avec le client pour établir son juste besoin. Être un leader historique du spatial fut donc un atout essentiel pour bénéficier de la confiance du client. La société s'est concentrée sur les éléments sur lesquels elle avait le plus de valeur ajoutée, c'est-à-dire le *design*, l'intégration, les essais et la qualification. Pour la fabrication des pièces, l'option la plus rationnelle était de s'appuyer sur des entreprises spécialisées, et surtout de s'insérer dans des chaînes de fabrication existantes.

Enfin, Sodern a reçu, à la demande du Cnes, l'aide indispensable de la Banque Publique d'Investissement, qui a exceptionnellement raccourci son délai d'intervention pour accompagner ce projet.

Le résultat a été à la hauteur des espérances. Le viseur d'étoiles ainsi créé, « Auriga », pèse 200g contre près de 2 kg pour les modèles traditionnels, fait la taille d'une canette

1 : Un viseur d'étoiles est un équipement qui permet à un satellite ou à une sonde de s'orienter précisément dans l'espace.



Insight sur Mars : Sodern inside

de soda contre celle d'un magnum de champagne, avec une réduction de coût de plusieurs facteurs dix.

Si cette expérience *new space* a constitué un succès en soi, elle a également permis de développer les activités traditionnelles de Sodern.

« DOUBLER SA PRODUCTION DE VISEURS D'ÉTOILES D'ICI 2020 »

L'impact du contrat OneWeb en termes d'image a été exceptionnel, et a totalement modifié la perception que les grands systémiers mondiaux avaient de Sodern. Fort de cet atout, l'équipementier a pu convaincre de nouveaux clients et renforcer son partenariat avec ses clients existants.

En conséquence, Sodern a pour objectif de doubler sa production de viseurs d'étoiles traditionnels d'ici 2020 pour honorer son carnet de commandes.

L'expérience de Sodern démontre donc que *new space* et marchés traditionnels ne sont pas imperméables, mais au contraire profondément interdépendants.

A ce jour, l'essor du *new space* mondial est principalement freiné par des capacités d'investissement privé limitées, notamment en raison de la barrière d'entrée que représentent des investissements initiaux colossaux. De fait, le chiffre d'affaires

réel généré par le *new space* en 2018 est estimé à 4 milliards d'euros², contre plus de 80 milliards pour les programmes institutionnels traditionnels...

Cependant, le réel impact du *new space* est avant tout culturel : il incite les industriels à optimiser leurs investissements, et donc à se focaliser sur le juste besoin du client. Plus fondamental encore, le *new space* a réintroduit la notion de prise de risque. Cette dernière demeure calculée, mesurée, mais tranche avec la recherche du « risque zéro » qui caractérise encore le domaine spatial traditionnel.

Si ce « risque zéro » semble inatteignable, sa quête engendre des coûts importants. Éliminer les derniers pourcents d'incertitude implique des développements et des essais longs et complexes, retardés par des procédures de sur-contrôle incompatibles avec l'efficacité industrielle.

Dans la philosophie *new space*, l'exigence de résilience ne repose plus sur le satellite, mais sur un système de satellites : la perte d'une unité est acceptable dans la mesure où celle-ci est remplaçable, à moindre coût.

Sur le plan industriel, le *new space* privilégie des cycles de développement courts, et considère les premières expériences en vol d'un système comme une étape du processus d'apprentissage. L'exigence de la preuve *a priori* est allégée, et le sur-contrôle est éliminé. Il en découle un rythme d'innovation beaucoup plus rapide, et un *tempo* de marché accéléré.

Le *new space* et le marché traditionnel sont complémentaires : le point d'équilibre entre ces deux approches reste à définir, mais il est d'ores-et-déjà certain qu'aucun des deux ne pourra remplacer l'autre.

Peut-on néanmoins imaginer que le domaine traditionnel s'inspire de la méthode *new space* pour faire évoluer sa culture de maîtrise des risques ? Un compromis consistant à offrir au client des garanties satisfaisantes tout en abandonnant la recherche du « risque zéro » permettrait-il de réduire fortement les coûts de possession de moyens spatiaux traditionnels ? Deviendrait-il dès lors envisageable d'investir dans des capacités nouvelles, ou simplement d'accroître le nombre de plateformes, et donc la résilience des systèmes de satellites ?

Une certitude demeure : dans le *new space* comme dans le domaine spatial traditionnel, les industriels ne pourront réussir sans le soutien des États et une politique industrielle adaptée. Sodern n'aurait pas gagné son pari *new space* sans l'intervention exceptionnelle du Cnes et de la BPI, tout comme SpaceX bénéficie de l'aide du gouvernement américain.

La clé d'une politique industrielle *new space* efficace réside dans son adéquation au tempo du marché. Dans un secteur où les cycles de développement sont fortement accélérés, les clients n'attendront pas les décisions de la puissance publique, et avanceront avec ou sans les industriels français. ☺



Franck Poirrier,
IGA, PDG de Sodern

Franck Poirrier est Président Directeur Général de Sodern depuis 2004. Il est également membre du comité directeur du Groupement des équipementiers (GEAD) du GIFAS et représentant des équipementiers spatiaux français au sein de COSPACE.

Il a dirigé l'activité spatiale (hors Hélios) de la Direction Générale de l'Armement de 1995 à 1998, puis a contribué à la réorganisation de l'industrie spatiale européenne à travers la création du groupe EADS, dont il a été l'un des architectes.

2 : Source : GIFAS

LANCEURS : L'EUROPE DOIT REPRENDRE LA MAIN

Xavier Lebacqz, IGA

Faute d'initiative forte, l'Europe est en retard sur les lanceurs. Une préférence européenne et une grande ambition commune pourraient revitaliser nos capacités

A l'été dernier Edith Cresson et moi-même avons signé un article sonnante l'alerte sur l'avenir de l'Europe spatiale et notamment l'avenir de son nouveau lanceur Ariane 6¹. Certains se gaussaient en 2014 des « illusions » technologiques d'Elon Musk. Depuis, les lanceurs de SpaceX ont le vent en poupe. La Chine a emboîté le pas et prépare aussi des lanceurs en partie récupérables. Une autre société américaine, Blue Origin, se positionne avec des lanceurs au premier étage réutilisable. Le Japon, l'Inde sont aussi sur la brèche. Certains évoquent maintenant la mauvaise santé financière de SpaceX, en oubliant que la fortune personnelle d'Elon Musk est de plus de 20 milliards de dollars...

Des paris insuffisants et tardifs

L'Europe miserait presque tout sur Ariane 6 dont les premiers lancements sont prévus en 2020 et pour laquelle on n'a pas l'engagement des Etats européens à lui réserver les lancements de satellites institutionnels. Outre Atlantique, le Buy American Act prévoit que tout satellite payé par le contribuable américain doit être lancé par une fusée fabriquée à plus de 51 % aux Etats-Unis. Qu'attend donc l'Europe pour faire de même ? Le satellite luxembourgeois SES 14, construit par Airbus a été lancé par SpaceX... Certes, ArianeGroup étudie aussi des options de récupération à l'horizon 2030, voire des options futuristes de lancement

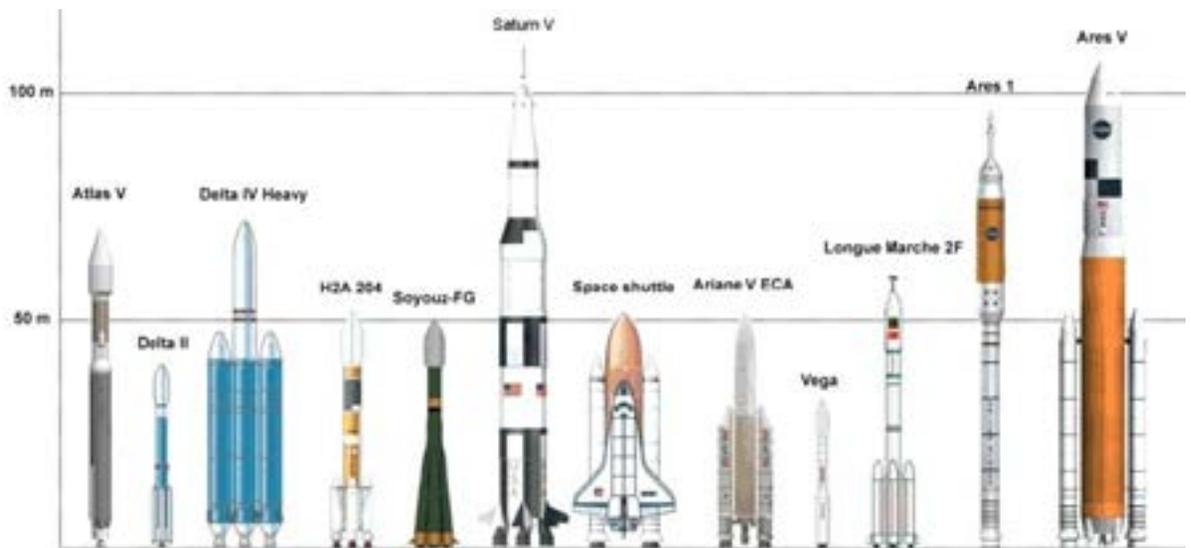
par catapulte électromagnétique. Mais elle pourrait bien avoir des années de retard. Les organisations industrielles d'ArianeGroup et d'Airbus peuvent-elles la « booster » ? L'état actuel de l'UE ne laisse rien présager de bon. Une défense européenne ne peut pourtant pas se priver de capacités de lancement européennes ! Quelque part, c'est en partie le projet avorté en 1992 de la navette spatiale européenne Hermès qui a permis à l'Europe d'être au rendez-vous de la compétition mondiale avec un lanceur de forte capacité, Ariane 5, qui a pu capter 50 % du marché des lancements de gros satellites. Sans le projet Hermès, aurait-on fait Ariane 5 à temps pour capter ce marché ? Aujourd'hui, quel déclin permettra à l'Europe de rester dans la course ?

Un domaine devenu très concurrentiel

On est aujourd'hui dans un contexte de concurrence exacerbée pour les lanceurs de gros satellites, une vingtaine par an dans les bonnes années, mais aussi de montée en puissance de kyrielles de petits satellites, qui, pour partie, sont des alternatives à de gros satellites. Les options de lanceurs pour ces petits satellites foisonnent : petites fusées, avions, ballons ou drones de lancement. Et là, les initiatives se multiplient. Il n'y a plus à tergiverser : la réussite de SpaceX, avec Falcon 9 et demain avec Falcon Heavy et sa fusée BFR, vont ébranler le marché de

mise en orbite de satellites lourds et, si on y ajoute les nouvelles fusées de Blue Origin (créée par Jeff Bezos, patron d'Amazon), celles des Indiens et celles de la série « Longue Marche » des Chinois, on voit se dessiner non seulement une concurrence implacable pour les mises en orbites basses ou géostationnaires de gros satellites mais aussi pour celles de myriades de nano ou petits satellites. Pour ces derniers, l'Europe a pu sauver les meubles avec la fusée de lancement Vega, plus petite qu'Ariane 6. Une version C de ce lanceur d'origine italienne est en cours de développement avec capacité de mettre en orbite des dizaines de petits satellites. Heureusement d'ailleurs que les Italiens avaient développé les premiers lanceurs Vega fin des années 90 ! Des « dispenseurs » de petits satellites sont déjà opérationnels sur Falcon 9 pour mettre en orbite des grappes de satellites, à l'instar du lancement réussi en septembre dernier des 64 nano et microsatsellites qui appartiennent à 34 organisations différentes, allant de sociétés commerciales à des universités. Les « dispenseurs » pour Ariane 6 en sont encore au stade des études et développement à l'horizon 2021. Outre les deux versions prévues, 62 et 64, d'Ariane 6, on nous parle maintenant des prodiges dont sera capable un nouveau petit lanceur Callisto puis Thémis, une « Ariane Next » en 2030 avec des éléments récupérables, mais hélas avec au moins dix ans de retard sur la

1 : <http://que-faire.org/category/energie-industrie/>



concurrence ! Quant aux satellites institutionnels européens, dont les militaires, nécessaires pour lancer une première fabrication d'Ariane 6, il en manque encore 4 à l'appel. Les gouvernements européens semblent avoir vu l'importance de l'Europe spatiale, mais où sont les engagements formels ? N'oublions pas que l'Allemagne a signé en 2013 avec SpaceX un contrat de lancement de ses satellites radar Sarah en 2018 et 2019, sans que l'on comprenne pourquoi Ariane 5 n'aurait pas fait l'affaire en attendant les premiers vols d'Ariane 6 encore hypothétiques en 2020... Il est urgent de s'engager formellement au niveau d'un conseil européen, voire d'un nouveau traité européen du spatial. Evidemment un Brexit ne va certes pas simplifier les choses et on ignore encore l'étendue du désastre à venir pour l'Europe spatiale...

Hélium 3, un grand projet fédérateur pour le long terme ?

Mais encore plus inquiétante est la courte vue de l'Europe dont les projets ne visent principalement

qu'à mettre des satellites en orbite, voire aussi quelques sondes et robots dans l'espace. Les Américains, Indiens, Russes et Chinois auront demain des lanceurs lourds, proches de la fusée Saturne V, et donc la possibilité d'installer des bases sur la Lune pour en ramener son hélium 3 dans des réacteurs de fusion nucléaire². Ces réacteurs pourraient bien mieux fonctionner dans les prochaines décennies que le réacteur expérimental Iter puis le réacteur prototype DEOM basés sur la fusion deutérium/tritium³. Ce n'est hélas pas Ariane 6 ni « Ariane Next » qui nous permettraient d'envoyer des hommes sur la Lune et d'en ramener assez d'hélium 3. Il n'y a donc rien d'extraordinaire à envoyer aussi une sonde sur la Lune avec Ariane 6 pour chercher de l'hélium 3 dont on sait déjà qu'il existe sur la Lune et qu'on serait incapable de ramener sur terre...

Que faire ?

- Il est essentiel de conclure un véritable traité spatial européen qui engagerait tous les Etats-membres à lancer leurs satellites institutionnels avec des lanceurs européens. Avec

ou sans Brexit, l'adhésion de la Grande-Bretagne à un tel traité serait sans doute utopique...

- Il faut changer la gouvernance de l'Europe spatiale et rendre son développement beaucoup plus agile et réactif. Il ne faut pas exclure pour cela de donner plus d'initiative à l'industrie et de diminuer drastiquement la lourdeur des organismes institutionnels européens...
- Obtenir de l'Europe une décision pour le développement de lanceurs lourds y compris en vue des vols habités vers la Lune. Si l'hypothèse de l'exploitation de l'hélium 3 lunaire devient crédible dans les cinquante prochaines années, l'indépendance énergétique de l'Europe et donc sa contribution au « refroidissement » de la planète pourrait bien en dépendre. ☺



Xavier Lebacqz,
IGA, consultant

Xavier Lebacqz a effectué une grande partie de sa carrière à la DGA dans une large palette de métiers, dont celui de directeur de programme du PA CDG. Après avoir supervisé les études du second porteur, il s'attela au démantèlement du Clémenceau puis de tous les matériels militaires avant de quitter l'administration en 2010.

2 : Le programme spatial chinois comprend l'exploration de l'hélium3 lunaire

3 : Hélium3 + Hélium3->2 Hydrogène + Hélium4 + 13 MeV. les réacteurs à deutérium et hélium 3 ne seraient pas radioactifs et produiraient directement de l'électricité alors que la fusion deutérium / tritium émet des neutrons qui vont rendre radioactif le réacteur et nécessitent de chauffer de l'eau avec ces neutrons avant de la convertir en vapeur puis en électricité.



MOT DU PRÉSIDENT

Chères, chers camarades,

Nous avons fait le choix cette année de tenir l'assemblée générale ordinaire de la CAIA juste avant le colloque sur le thème « Le corps de l'armement dans cinquante ans ». Ce fut plutôt une bonne idée, à l'éclairage des réflexions actuelles dans le pays sur la haute fonction publique.

L'assemblée générale 2019 a permis de revenir sur les projets majeurs conduits par la CAIA à l'occasion du cinquantième anniversaire du corps de l'armement en 2018 et de la CAIA en 2019. Je souhaite souligner trois d'entre eux, en rapport avec le futur du corps de l'armement.

L'ouvrage «Le corps de l'armement. Un atout pour la France »*, édition spéciale du gala du cinquantième, document de notoriété, préfacé par le Président de la République, lequel a tenu à s'associer « à cet ouvrage qui rend un bel hommage à ces femmes et à ces hommes contribuant, chaque jour, à la protection de nos compatriotes, à notre sécurité et à la défense de nos intérêts nationaux ». Organisé en trois parties, cet ouvrage revient d'abord sur la genèse du corps de l'armement, puis retrace des réalisations emblématiques avant d'esquisser des perspectives pour le corps de l'armement pour les cinquante prochaines années.

« Les ingénieurs de l'armement : 50 ans d'innovations ». La CAIA et le Conseil Général de l'Armement réalisent une exposition virtuelle sur cinquante ans d'innovations, au travers de grands

projets d'armement mais aussi de programmes civils, en particulier aéronautiques et spatiaux, pilotés par les ingénieurs de l'armement. Cette exposition virtuelle est accessible à partir du site internet de la CAIA ou directement sur <https://www.armement-innovations.fr>

Le colloque « Le corps de l'armement dans cinquante ans ». Comme annoncé lors de la réunion du Conseil Général de l'Armement de mai 2018, la CAIA a concrétisé sa proposition de colloque pour échanger entre les différentes parties prenantes de la gestion du corps de l'armement afin de répondre à la demande de la ministre qui attend du CGARM des propositions pour l'avenir des ingénieurs de l'armement. Des pistes d'évolutions sont maintenant envisageables conjointement par le CGARM et par la DGA pour non seulement faire perdurer le fonctionnement optimal de la DGA

et assurer la bonne exécution de la LPM mais encore pour permettre à l'ensemble de la fonction publique de bénéficier des qualités et compétences des ingénieurs de l'armement ; ceci conduit nécessairement à faire « bouger les lignes » de la gouvernance du corps de l'armement. Il restera à trouver le moment opportun pour décider, ces réflexions et propositions arrivant au début de la mission de six mois sur la haute fonction publique confiée à M. THIRIEZ.

Tout ceci ne doit pas nous empêcher de continuer, encore et toujours, à promouvoir dans la société française et même au-delà, les qualités du corps de l'armement. En particulier vers les jeunes, pour envisager un recrutement plus conséquent mais toujours de haut niveau.

Philippe HERVE, IGA
Président de la CAIA

COUP DE FOUDRE POUR LE PARIS E-PRIX

Vendredi 26 avril, à l'initiative de la Section Carrières, quelques jeunes IA ont pu participer en VIP au fameux Paris E-Prix, sur la place des Invalides, grâce à notre camarade Eric Barbaroux.

Eric, passionné de sport automobile depuis toujours – il a même été au cabinet du ministre des Sports – est le co-inventeur et promoteur de la F1 électrique. Il pilote depuis quatre ans l'organisation du Paris E-Prix qui se tient autour des Invalides, sans conteste le plus beau site des 12 grands prix mondiaux.

12 h. Rendez-vous porte A1. La team et les bénévoles nous accueillent chaleureusement avec des badges VIP. Entrée privilégiée qui nous permet d'accéder au plus près des stands.

12 h 15. Nous sommes conduits au plus près du stand DS Techeetah. Le pilote français de l'écurie, Jean-Eric Vergne, a gagné la course l'an dernier, et a été champion à la fin de l'année 2018. Seules six personnes ont le droit

de toucher à la voiture, celles qui portent un brassard. Nous discutons avec Pascal Tortosa, le « racing », c'est-à-dire l'interface radio permanente entre le pilote et les équipes techniques. Il nous explique que la mécanique comme la batterie étant imposées, on fait des prouesses sur la gestion dynamique de la batterie : aujourd'hui 97 % de l'énergie est transmise aux roues et 70 % de l'énergie de freinage est récupérée.

13 h. Déjeuner dans un food truck. Of course.

14 h. Visite des stands. Au programme, des simulateurs, mais également de la réalité virtuelle et de nouveaux moyens d'interaction. L'enjeu est évidemment de séduire, en particulier une population jeune. Il devient possible de diriger

une mini-balle de foot en utilisant son cortex visuel ou de revivre l'aventure de l'automobile dans un fauteuil massant. Plus sérieusement, tous les grands constructeurs témoignent par leur présence qu'ils ont résolument pris le virage de l'électrique.

15 h 30. Shakedown : les tours de reconnaissance du parcours. Six tours seulement, qui sont les seuls tours de reconnaissance des pilotes avant les qualifications du lendemain et qui servent à valider les simulateurs, sur lesquels les pilotes ont couru des centaines d'heures. La vitesse est limitée, mais déjà, depuis les tribunes, on sent les pilotes s'impatienter. Ce n'est plus le grondement des Michel Vaillant, mais un concert de sifflements où chaque voiture a sa propre signature. Au dernier tour de piste, sortie du pilote espagnol. Les autres équipes doivent alors ralentir le rythme pour éviter l'obstacle.

Est-ce que les données sont suffisantes pour les équipes ? Ont-elles pu suffisamment anticiper le lendemain ? La météo s'annonce pluvieuse sur ce circuit étroit et sinueux. Eric a su offrir à la formule E un cadre magnifique : entre le pont Alexandre III et la tour Eiffel. Nous prenons un dernier verre et quittons la piste, des étoiles plein les yeux. Merci Eric. ☺

Amandine, Nathan, Adrien, Laurent, Charles, Antoine, Jérôme



Le Paris E-Prix, 8ème manche du championnat du monde de Formule-E

ENTRETIEN PRESQUE FICTIF AVEC UN PERSONNAGE PRESQUE RÉEL

MAO LINPING, NEVEU DE MAO TSÉ TOUNG, ANCIEN INGÉNIEUR DE LA CHINOISE AEROSPACE CORPORATION (CASC) À LA RETRAITE.

La CAIA : *C'est impressionnant de voir la progression de la Chine dans le spatial, depuis la fusée Longue Marche, le premier taïkonaute en 2003, la première mondiale de poser du rover Chang'e 4 sur la face cachée de la Lune, et dernièrement le projet d'exploration de Mars. Aviez-vous anticipé cette dynamique lorsque vous étiez aux affaires spatiales à la CASC ?*

Mao Linping : Merci ! Vos compliments sur nos modestes résultats me flattent. Ceci dit, je vais peut-être vous surprendre un peu, en vous disant que nous avons une âme d'explorateurs. En effet, soixante ans avant les découvertes de Christophe Colomb, la Chine avait créé une flotte immense qui avait exploré toute les côtes d'Asie et jusqu'au Cap de Bonne Espérance. Puis elle s'est repliée sur elle-même, ce qui lui a valu des siècles d'histoire moins intéressante. C'est pourquoi certains historiens ont appelé cette flotte « l'ultime armada ». L'aventure du spatial a vraiment démarré pour

nous avec l'accueil d'un brillant ingénieur sino-américain dénommé Tsien Hsue-Shen. Formé par Von Karman, envoyé en Allemagne juste après la défaite nazie pour dialoguer avec Wernher von Braun, il avait publié des articles révolutionnaires sur la propulsion et figurait parmi les pères fondateurs du Jet Propulsion Laboratory. Mais, après avoir été accusé à tort de « sympathies communistes » par l'administration américaine, il a fini par perdre confiance dans sa terre d'accueil et rejoindre sa mère patrie. Nous sommes ainsi redevables du sénateur John Mac Carthy de nous avoir procuré sur un plateau, pour ainsi dire, le premier patron de la 5^{ème} académie de notre ministère de la Défense, devenu ensuite le père de la fusée Longue Marche. Cela ne fut pas très facile, mais nous avons été aussi aidés par les soviétiques, jusqu'à la brouille de la fin des années cinquante. Et comme Tonton Mao admirait beaucoup monsieur Qian (Tsien) pour son talent, parce qu'il avait quitté les Etats-Unis et pour ses belles

réussites en Chine, il l'a laissé oeuvrer en toute quiétude avec beaucoup de moyens, même au plus fort de la Révolution Culturelle !

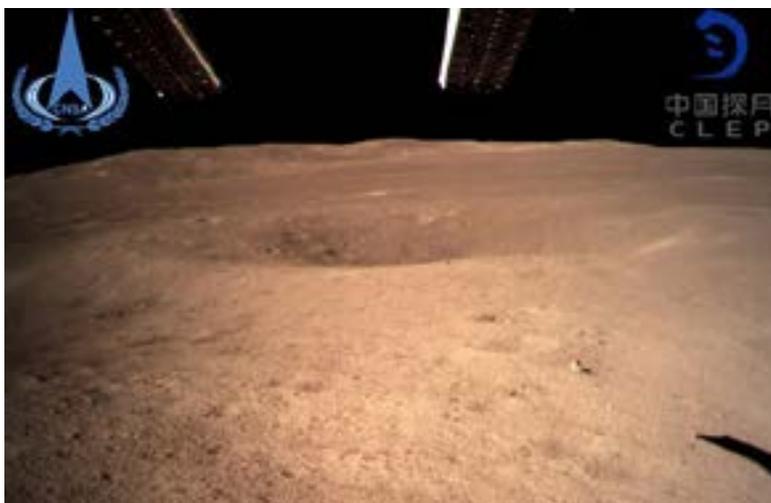
Certes, nous avons pris du retard en électronique, quand mon oncle a voulu à une époque privilégier l'industrie lourde et la production d'acier. Mais nous rattrapons cela progressivement, avec le programme de recherche 863 lancé en mars 1986, où l'électronique figurait en bonne place aux côtés du spatial ; et depuis 2014 en injectant plus de 100 milliards de dollars dans quelques champs.

CAIA : *La Chine a été parfois très audacieuse, en 2006 en aveuglant des satellites américains avec un laser, et peu après en détruisant un de ses vieux satellites avec un missile balistique...*

M.L : Ah, oui, j'avais oublié cela... Il faut dire qu'à l'époque nous étions seulement le troisième acteur de l'espace ; et d'ailleurs, l'Inde vient juste de le faire elle aussi, n'est-ce pas ? De fait nous aimons être bien préparés... Votre Clausewitz n'a-t-il pas écrit « la guerre n'est qu'un prolongement de la politique par d'autres moyens » ? Formule que Sun Tzu n'aurait sans doute pas reniée... Enfin, bon, n'allez pas me faire dire que la Chine lésine sur les moyens, avec presque 200 000 personnes et une dépense officiellement de l'ordre de 5 milliards de dollars, en réalité, bien plus, consacrées à l'espace ! Car nous pensons que le spatial, c'est important pour la construction de mon pays.



Mao Linping dans ses jeunes années



Photographie de la face cachée de la lune prise par le programme spatial Chang'e 4 (source : China National Space Administration)

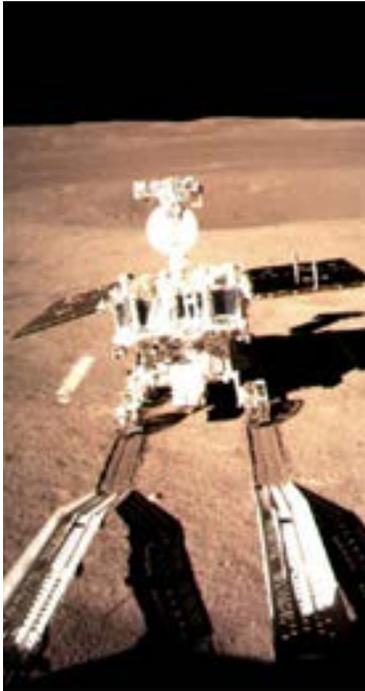


Photo du patrouilleur de la mission Chang'e 4 qui a effectué ses premiers tours de roues sur la face cachée de la Lune le 3 janvier 2019

La Chine est, comme vous savez, dirigée par des ingénieurs et en forme plus d'un million par an. C'est une force considérable que nous savons désormais fixer et même faire revenir. Au fait, il me semble que votre jeunesse tend un peu à bouder les carrières scientifiques, comme c'est le cas depuis longtemps aux Etats-Unis. C'est dommage parce que vos écoles d'ingénieurs et vos meilleures universités sont excellentes. Pour preuve, elles ont la cote auprès de nos jeunes les plus brillants ! Je me félicite que les résultats soient là. Dès 2011, la Chine a fait plus de lancements que les Etats-Unis. Elle prévoit d'en faire une quarantaine cette année. Dans les satellites télécom, nous avons démarré en coopération internationale et nous gagnons en autonomie. Nous avons aussi lancé des satellites d'observation terrestre, de météo ... et même le programme Beidou, comparable au GPS et au Galileo européen, dont le déploiement devrait être achevé en 2020. Dans le spatial comme dans bien d'autres domaines, la Chine

voit loin, travaille dur et s'organise, pour aller très loin, d'autant plus que c'est également stratégique. Je ne m'étendrai pas sur le militaire, il y aurait tant à dire, mais vous noterez tout de même que nous avons mis en place une intégration très poussée entre moyens spatiaux et moyens cyber / renseignement / Psyops au sein de la force de soutien stratégique de l'Armée Populaire de Libération, créée fin 2015. Mais revenons à nos affaires. Pour inspirer les plus jeunes et insuffler un esprit de conquête, nous avons fait du 24 avril la journée de l'Espace. Et si vous me parlez du projet d'exploration du 9^{ème} Plan (2001 - 2006) de la planète Mars, qui revient en force après avoir été mis en veilleuse au profit du programme lunaire, je suis d'accord pour dire que, oui, en effet, la Chine ne manque pas d'audace. Et ce n'est pas tout ! Nous avons dans nos cartons un projet de zone économique entre la Terre et la Lune, construite par fabrication additive (pour exploiter des minerais et peut-être l'hélium 3 de la Lune), des projets de centrales solaires pour transmettre de l'énergie sur Terre par micro-ondes ou par laser... Bref, l'Espace est à la pointe de l'esprit de conquête qui nous anime et qui tend à perdre, hélas, son lustre chez vous. A côté des domaines cyber et numérique, le spatial n'a aucun souci pour recruter l'élite de nos ingénieurs. Tant mieux parce que même si nous allons très vite au plan opérationnel, nous avons encore du travail avant de vous rattraper dans certaines technologies de pointe. C'est le bon moment pour miser sur la convergence du numérique et du spatial afin de consolider nos atouts et figurer au premier rang.

CAIA : *Chez nous, l'initiative privée et le New Space apportent une bouffée d'air frais au secteur spatial. Pensez-vous que la Chine va aussi pouvoir s'appuyer davantage sur une dynamique de marché ?*

M.L : C'est une très bonne question. Effectivement, la Chine suit de près des sujets comme le micro-satellite, le lanceur réutilisable, les avancées de Space X... Alors pour accueillir les bonnes idées d'où qu'elles viennent, y compris chez nous, nous avons libéralisé dès 2014 l'activité spatiale et déjà une bonne trentaine de sociétés privées sont nées, comme Linkspace, fondée en 2014 par un jeune passionné, qui développe un petit lanceur réutilisable dénommé New Line 1. Dans les petits lanceurs conventionnels, on trouve ExSpace, *spin-off* de la CASIC ; Landspace, fondée par l'université Tsinghua de Pékin en 2015 ; OneSpace et i-Space, qui visent le marché des microsatellites... Cette dernière a obtenu l'équivalent de 80 millions d'euros de financements par des acteurs comme Baidu, notre Google chinois. Il y a aussi Space Transportation Technology, qui a co-développé avec l'université de Xian un engin hypersonique destiné à tester des concepts pour des vols commerciaux hypersoniques. Dans le satellite, on trouve ZeroG Lab, qui a levé 3,2 mUSD. Par ailleurs, les banques et les fonds d'investissement chinois ont placé quelques gros tickets sur des acteurs américains du *New Space*. D'ailleurs, si vous avez une société à vendre dans ce domaine, vous serez bienvenu, je vous trouverai facilement un acheteur, sans avoir à traverser la rue... Vous voyez, la Chine pratique, elle aussi, l'open innovation. Ce n'est pas une idée complètement neuve ici : souvenez-vous, « que cent fleurs s'épanouissent »... Et si une de nos *start-ups* parvient à casser les prix du marché international, ce sera très bien. Ceci dit, ne rêvez pas trop, nous n'en sommes pas au point où la Chine va confier des lancements gouvernementaux à des acteurs internationaux du *New Space*. ☺

par François Dudeck

LES INGÉNIEURS DE L'ARMEMENT

50 ANS D'INNOVATION



À l'occasion des 50 ans de la création du corps de l'armement, la confédération amicale des ingénieurs de l'armement (CAIA) et le conseil général de l'armement (CGARM) ont initié en 2018 la réalisation d'une exposition virtuelle sur Internet intitulé : « les ingénieurs de l'armement, 50 ans d'innovation ».

Cette exposition, disponible depuis fin mars 2019 à l'adresse : armement-innovations.fr, a pour but de présenter quelques grandes réalisations conduites par les ingénieurs de l'armement qui ont contribué à la souveraineté de la France. La plupart des auteurs de cette promenade virtuelle sont les responsables des programmes eux-mêmes, au sein de l'État ou de l'industrie.

Les aspects scientifiques et techniques mais aussi opérationnels, économiques ou historiques sont présentés pour plus d'une dizaine de programmes dans la première version de cette exposition qui est appelée à se développer et s'enrichir de nouveaux programmes et données.

Le grand public pourra parcourir les textes richement illustrés, découvrir les témoignages et anecdotes ou visionner les nombreux films tandis que les spécialistes ou passionnés de l'aéronautique, de l'espace, de la marine ou de l'armement terrestre pourront y trouver des précisions sur les innovations ou la conception d'un certain nombre de systèmes.



Cette exposition est également à destination des jeunes générations afin qu'elles puissent trouver autant de passion que leurs aînés à s'engager dans ces métiers.



Le visiteur pourra, en outre, accéder à la version numérique de l'ouvrage de près de 700 pages préfacé par le Président de la République sur même sujet.

Ton regard d'expert et tes attentes sont importants pour l'équipe en charge de cette exposition virtuelle afin de la développer et de l'enrichir.

N'hésite pas à nous faire part de tes remarques ou souhaits d'évolutions à l'adresse : expo@caia.net



Site à consulter : www.armement-innovations.fr



Gala de l'Armement

Vendredi 4 octobre 2019


INTERCONTINENTAL
HOTELS & RESORTS

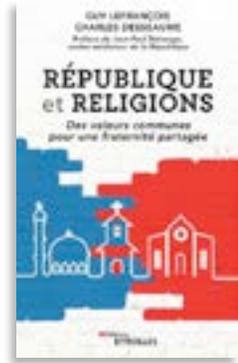
Contact : gala@caia.net

RÉPUBLIQUE ET RELIGIONS

Des valeurs communes pour une fraternité partagée,
par **Guy Lefrançois et Charles Desseaume, ICA,**
chez Eyrolles, collection Essais, 16€

Cette planche fort bien documentée montre l'évolution des liens, notamment sur le plan juridique, entre les principes de la république et ceux des trois religions abrahamiques, en distinguant catholicisme et protestantisme.

L'histoire des «lois», depuis les textes fondamentaux jusqu'à la (presque) complète séparation de l'Eglise et de l'Etat, est présentée sous trois thèmes (liberté, égalité, fraternité), déclinés en une vingtaine de principes et recèle, à la lecture attentive, des paradoxes peu connus.



Dans un style où transparaît une culture de recherche d'objectivité, et en cherchant à distinguer dans les religions ce qui est temporel et ce qui ressort de la foi ou du spirituel, il montre que sous cet angle il y a convergence entre les valeurs de la république et celles des religions.

Travail collectif de l'association CLUB ECEF, déclarée d'intérêt général, il sert l'objectif d'une meilleure intégration de chacun dans la Nation au profit d'un mieux vivre ensemble. Préfacé par Jean-Paul Delevoye. 📧



« LES CHEMINS DE FER PENDANT LA GUERRE DE 1870-1871 »,

de **F. Jacqmin (X1839)**, téléchargeable gratuitement sur le site **Gallica de la BNF**

<https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k4086242.textelimage>

Directeur de l'exploitation à la Compagnie des chemins de fer de l'Est lors du déclenchement de la guerre de 1870, François Jacqmin dresse une synthèse instruite et critique sur ce mode de transport stratégique. L'utilisation, la protection, la neutralisation/destruction volontaire et la réparation des chemins de fer par les belligérants sont traitées, en s'appuyant sur des faits précis.

Les leçons générales qu'en tire l'auteur sont simples : indispensable unité du commandement, pour éviter de voir l'opérateur civil recevoir des ordres de provenances variées et incompatibles les uns avec les autres ; nécessaire association de l'élément militaire et de l'élément technique pour que les ordres soient basés sur une connaissance éclairée des possibilités (et impossibilités) du système ferroviaire ; importance primordiale de la préparation (étude et entraînement ; adaptations du réseau et du matériel), à tous les échelons.

Les infrastructures, systèmes et services civils potentiellement nécessaires ou utiles aux opérations militaires se sont depuis multipliés (transports, télécommunications, énergie, etc.). L'étude de ce précédent peut intéresser nos camarades travaillant dans ces secteurs professionnels ainsi que ceux restés au Ministère chargé de la défense ou au SGDSN. 📧

Philippe PUJES

PAR DÉCRET ET ARRÊTÉS DE FÉVRIER 2019
Fixation du nombre de postes offerts au recrutement dans le corps des IA :

Le nombre de postes offerts pour le recrutement d'ingénieurs de l'armement en 2019 est fixé à :

- 22 places au titre du tableau de classement de sortie de l'Ecole Polytechnique (article 4 du décret 2008-941)
- 4 places au titre du recrutement à titre initial d'IA stagiaires par concours sur titres (article 5 – 2°)
- 3 places au titre du recrutement en cours de carrière par concours sur épreuves au grade d'IA (article 6 – 1°)
- 3 places au titre du recrutement en cours de carrière par concours sur épreuves au grade d'IPA (article 6 – 2°).

Est approuvée l'élection de :

L'ICA Malier (Laurent), membre titulaire de l'Académie des technologies (5 décembre 2018).

Est reconduit dans sa fonction :

L'IGA HC Coté (François), membre du conseil d'administration de l'Ecole nationale supérieure de techniques avancées Bretagne (26 février 2019).

Par décrets de mars 2019**Est nommé au grade d'ingénieur général de 2^e classe :**

Pour prendre rang du 1^{er} avril 2019
L'ICA Lorne (Thomas).

Sont nommés :

L'IGA2 L'Ebraly (Hubert), chargé de mission « projet service industriel de l'aéronautique » auprès du directeur des ressources humaines de la DGA (4 mars 2019).

L'ICA Ferrand (Carole), membre du conseil d'administration de l'Onera (5 mars 2019).

L'ICA Bellier (Bruno), membre du conseil d'administration de l'Onera (5 mars 2019).

L'IGA Sellier (Cécile), membre du conseil d'administration du Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (19 mars 2019).

L'IGA Lorne (Thomas), chargé de la sous-direction Europe centrale et orientale et Amérique

Par décret de mai 2019**Est promue au grade d'ingénieur général de 1^{re} classe :**

Pour prendre rang du 1^{er} juin 2019
L'IGA2 Crépon (Elisabeth).

Est nommé au grade d'ingénieur général de 2^e classe :

Pour prendre rang du 1^{er} juin 2019
L'ICA Frager (Nicolas).

MOUVEMENTS DE FÉVRIER 2019

NOM	PRÉNOM	GRADE	DÉPART	ARRIVÉE
PRUDHOMME (1983)	Jean	ICA	DO/UMNAV	SMCO/SSF
GERMAIN (1965)	Pierre	ICA	DS/CATOD	DIRISI
MERCIER (1970)	Laurent	IG2A	SMQ/SQ Arcueil	SMQ/SSNA

MOUVEMENTS DE MARS 2019

NOM	PRÉNOM	GRADE	DÉPART	ARRIVÉE
DUFOURD (1975)	Delphine	ICA	DO/UMTER	DS/AC
BORDE (1975)	Olivier	ICA	DO/UMACE	DS/AC
ROGER (1991)	Jean-Baptiste	IA	DS/CATOD	DT/IP
LEONE (1990)	Quentin	IA	MINARM	DT/MI/Bruz
LOUVET (1980)	Franck	IPA	DP/ Paris	DO/UMNAV
PROPHÈTE (1961)	Pascal	IG2A	SGA/DAF	DO
L'EBRALY (1969)	Hubert	IG2A	DI/SDEA	DRH/D
DAUX (1979)	Matthieu	ICA	DP/ Paris	DO/UMAMS

MOUVEMENTS D'AVRIL 2019

NOM	PRÉNOM	GRADE	DÉPART	ARRIVÉE
FOESSEL (1987)	André	IPA	DT/TN	DT/IP
BOUZELOC (1973)	Corinne	ICA	DI	DP/ Paris
LODEON (1971)	Patrick	ICA	DO/UM Esio	DO
SOULE (1970)	Bernard	ICA	DO/UMCOE	DO/UMHELI
POINSARD (1992)	Pierre-Yves	IA	DT/EV/Istres	DT/EV/Cazaux
VIESTE (1971)	Laurent	ICA	DT/ST	DO/UM Esio
PAYERNE (1978)	Cyril	ICA	DT/IP	DP/ Paris
ALCAYNA (1990)	Simon	IPA	DT/EP	MEIE/DGE
GRANGIER (1977)	Nicolas	ICA	DO/UMHMI	AID
DUVEAU (1980)	Guillaume	ICA	DGSIC	DPID

MOUVEMENTS DE MAI 2019

NOM	PRÉNOM	GRADE	DÉPART	ARRIVÉE
TRIVAUDEY (1967)	Franck	ICA	EMA/CICDE	DT/IP
MARYNIAK (1962)	Pascal	ICA	GIC	DGA/SSDI

ONT ÉTÉ NOMMÉS :

Nicolas DUPIN (1986), maître de conférences à l'Université Paris Sud (01/01/2019)

Thierry FRANCOU (1968), président de GIAT Industries, PDG de SNPE et EURENCO (01/02/2019)

Jocelyn ESCOURROU (1986), chargé de mission auprès du directeur groupe Stratégie et M&A du groupe Safran (01/02/2019)

Jean GAUTHIER (1972), Directeur R&D et innovation de Naval Group (01/03/2019)

Mathieu MANTA (1975), architecte big data à la DSIC du Ministère de l'Intérieur (15/3/2019)

Minh-Tâm HUA (1986), chef de projet technologies chez France TV (01/04/2019)

Jacques LENGYEL (1975), Ministère de l'intérieur (01//04/2019)

Alain BURIE (1964), manager chez Nexter à Bourges (01/04/2019)

Guillaume FAURY (1968), PDG du groupe Airbus (10/04/2019)

Nicolas RANQUE (1985), Aircraft architect and integrator / flight operations, functions and design chez Airbus (01/05/2019)

Lionel LAVAUD (1971), responsable industriel d'offre à Naval Goup – Ruelle (01/05/2019)

Emmanuel LEPAREUX (1976), directeur technique chez ROXEL (01/05/2019)

Richard CASTAING (1990), chargé de mission au SGDSN (01/06/2019)

AEROSYSTEMS

CONNECTING SPACE

ENABLING AEROSPACE TESTING

ZODIAC DATA SYSTEMS



ACQUIRE



RECORD



TRANSMIT



TRACK



RECEIVE



PROCESS



REPLAY

WE ARE TELEMETRY™

As a world leader in telemetry, Zodiac Data Systems is the only provider offering state-of-the-art Products and comprehensive Solutions, for Connecting Space and Aerospace Testing.

GLOBAL SALES

5, Avenue des Andes - CS 90101 - 91978 Courtaboeuf Cedex - FRANCE
Tel.: +33 1 69 82 78 00 - Email: sales.zds@zodiacaerospace.com

USA

11800, Amber Park Drive - Suite 140 - Alpharetta, GA 30009 - USA
Tel.: +1 770 753 4017 - Email: sales.zds@zdsus.com



Nexter,

architecte et systémier intégrateur de défense terrestre en France, est une référence majeure dans les systèmes blindés de combat et d'artillerie et dans le domaine munitionnaire. Nexter conçoit des solutions innovantes dans les composantes terre, air et mer, afin d'apporter aux forces armées françaises et étrangères un **avantage opérationnel décisif**.

BLINDÉS



CRÉATEUR DE RÉFÉRENCES DE DÉFENSE

nexTER **K+N**
A COMPANY OF **D+S**