



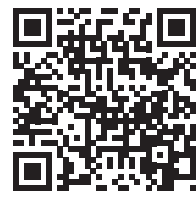
MINISTÈRE
DES ARMÉES

*Liberté
Égalité
Fraternité*

DU CIEL À L'ESPACE : NOUVEAUX ENJEUX OPÉRATIONNELS À TRÈS HAUTE ALTITUDE

LUNDI 9 JANVIER 2023

À retrouver sur la chaîne
YouTube de l'armée de
l'Air et de l'Espace



SOMMAIRE

Préface du commissaire général (2S) Pascal DUPONT	4
Ouverture par Agnès D'HEILLY	5
Introduction de Xavier PASCO	6
« Mon projet en 180 secondes » par Nicolas MULTAN	8
TABLE RONDE N°1 : Quelles activités et organisations émergent entre l'espace aérien traditionnel et l'Espace ?	9
<p>Général de corps aérien Frédéric Parisot, major général de l'armée de l'Air et de l'Espace (MGAAE) Ingénieur en chef de l'armement Jean-Baptiste Paing, architecte du système de défense – Commandement et Maîtrise de l'Information, Direction générale pour l'armement (DGA) Hervé Derrey, président directeur général de Thales Alenia Space Marc Valès, directeur des activités spatiales de Dassault Aviation Stéphane Vesval, sénior vice-président, ventes et marketing systèmes spatiaux d'Airbus Defense and Space Général de division aérienne (2S) Pascal Legai, conseiller sécurité du directeur des programmes d'observation de la Terre à l'Agence spatiale européenne (ESA)</p>	
« Mon projet en 180 secondes » par Jean-Luc DIEMUNSCH	19
TABLE RONDE N°2 : Quelle volonté française de réguler l'espace aérien supérieur (HA : Higher Airspace) ?	20
<p>Général de division aérienne Stéphane Virem, directeur de la sécurité aéronautique d'état (DSAé) Nathalie Le Cam, cheffe de projet opérations spatiales et haute altitude à l'Agence européenne de la sécurité aérienne (AESA) Éric Billard, chef de l'unité « architecture et recherche », Eurocontrol Bernard Chemoul, inspecteur général et directeur de la qualité du Centre nationale d'études spatiales (CNES)</p>	
Entretien avec le colonel Olivier FLEURY, commandant la base aérienne 367 de Guyane.	31
« Mon projet en 180 secondes » par Louis HART-DAVIS, fondateur de la société STRATOLIA.	33



TABLE RONDE N°3 :

Quelle stratégie de défense dans cette tranche d'altitude ?

34

Général de corps aérien **Philippe Moralès**, commandant la défense aérienne et les opérations aériennes (CDAOA)

Général de division aérienne **Philippe Adam**, commandant de l'Espace (CDE)

Bertrand Le Meur, directeur stratégie de défense, de la prospective et de la contre-prolifération à la Direction générale des relations internationales et de la stratégie (DGRIS)

Franck Lefèvre, directeur technique général de l'Office national d'études et de recherches aérospatiales (ONERA)

Discours de Thomas GASSILLOUD,

député, président de la commission de la défense nationale et des forces armées.

43

Discours de clôture du général d'armée aérienne Stéphane MILLE,
chef d'état-major de l'armée de l'Air et de l'Espace (CEMAAE).

45

Postface du Commissaire général (2S) Pascal Dupont

46



Préface du commissaire général (2S) Pascal DUPONT

Commissaire général des armées 2S (EA et ECA 85), Docteur en droit, Secrétaire général de la Société française de droit aérien et spatial.

Le thème des opérations dans la très haute altitude¹ est longtemps resté peu connu. La couche² d'espace aérien hébergeant ces opérations et approximativement comprise entre 20 km³ et 100 km⁴ d'altitude, est considérée comme marginale pour la navigation aérienne alors qu'elle constitue une partie intégrante de l'espace aérien soumis à la souveraineté étatique. Elle est donc distincte de l'espace aérien exo-atmosphérique (l'espace tout court), qui désigne par convention la partie située au-delà de l'atmosphère où la densité de l'air permet la sustentation des aéronefs. Les véhicules aériens mais aussi spatiaux (fusées et navettes) appelés à y transiter étaient jusqu'à une date récente, peu nombreux et réservés à un usage souvent régulier. Pour autant, il devient de plus en plus évident que la très haute altitude constitue avec les grands fonds marins ou le cyber, un lieu émergent de rivalités, voire de conflictualité, entre les puissances du XXI^e siècle.

Les trois tables rondes, tenues durant le colloque « Du ciel à l'Espace : nouveaux enjeux opérationnels à très haute altitude » organisé le lundi 9 janvier 2023 par le Centre d'études stratégiques aérospatiales (CESA) au sein de l'amphithéâtre Foch de l'École militaire, exploraient trois grandes thématiques : Quelles activités et organisations émergent entre l'espace aérien traditionnel et l'Espace ? Quelle volonté française de réguler l'espace aérien supérieur /HAO ? Quelle stratégie de défense dans cette tranche d'altitude ? Elles ont rassemblé des aviateurs, des industriels, des parlementaires, des acteurs d'agences européennes et des universitaires. Tous ont pu échanger avec succès sur les perspectives offertes par cette tranche de l'espace aérien, qui dispose de caractéristiques physiques spécifiques qui la font appartenir selon les altitudes concernées et les aspects à la fois de l'espace aérien traditionnel et de l'espace exo-atmosphérique, et au sein de laquelle les enjeux à la fois civils et militaires sont particulièrement nombreux.

Traditionnellement réservées aux ballons stratosphériques, pour les vitesses basses, ainsi qu'aux missiles et aux navettes spatiales pour les grandes vitesses (l'hypersonique), les activités tant civiles que militaires dans l'espace aérien supérieur se diversifient avec de nouveaux engins. Avec le concours des industriels, la Direction générale de l'armement (DGA) s'intéresse depuis plusieurs années aux plateformes stratosphériques, en particulier les drones, les dirigeables et les ballons aptes aux permanences longues sur zone et à l'emport d'une charge utile importante. À cet égard, la France dispose en la matière d'un savoir-faire important avec le CNES, ARIANE GROUP, THALES et bien d'autres acteurs. Il en va ainsi des projets de ballons d'Hemeria ou Stratobus, qui, pour ne citer qu'eux, ont bénéficié de financements civils et du soutien de la DGA.

En définitive, les enjeux opérationnels dans la très haute altitude ne sont pas nouveaux en tant que tel. Bien au contraire, il s'agit d'une tranche d'altitude dont les potentialités sont encore largement inexploitées et prometteuses. C'est pourquoi, l'armée de l'Air et de l'Espace (AAE), qui a pris en compte le sujet des opérations dans la très haute altitude depuis déjà de nombreux mois, sous l'angle de la mission de défense aérienne conduite par le Commandement de la défense aérienne et des opérations aériennes, a été mandatée par l'état-major des armées pour rédiger une stratégie militaire pour les armées. On relèvera au passage que ce colloque du CESA est intervenu quelques semaines avant l'affaire du survol du ballon chinois dans l'espace aérien des États-Unis, soulignant ainsi l'adéquation entre les manifestations organisées par l'AAE et les relations internationales.

1. En anglais HAO pour *Higher Airspace Operations*.

2. En anglais HA pour *Higher Airspace*.

3. Correspondant généralement à la limite de l'espace aérien géré par les prestataires de la navigation aérienne.

4. Par référence à la ligne dite de Karman.



Ouverture par Agnès D'HEILLY

ARIANE GROUP est maître d'œuvre du missile balistique M51, des lanceurs Ariane et développe désormais le projet de véhicule manœuvrant expérimental V-MAX, premier démonstrateur spatial propulsé par une fusée qui permettra à la France de se doter de la technologie des planeurs hypersoniques.

Ce colloque explore un sujet inédit qui pique ma curiosité de réserviste et promet d'être passionnant. Il est bâti autour des nouveaux enjeux opérationnels à très haute altitude dans ce que l'on nomme l'espace aérien supérieur (*Higher Airspace*).

Ce presque espace se situe approximativement entre 20 et 100 km d'altitude dans une couche où l'atmosphère est très peu dense, où les objets passent, évoluent et stationnent mais ne gravitent pas. C'est le plancher de l'espace. Jusque-là pratiquement inexploitée, cette tranche d'altitude se peuple progressivement de nouveaux objets répondant à des enjeux très différents, à la fois civils et militaires, tels que les aéronefs suborbitaux, les ballons stratosphériques ou les planeurs hypersoniques.

Même si bon nombre de ces objets n'atteindront pas leur maturité technologique avant 2035, l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI) et l'Union européenne entreprennent déjà d'harmoniser et de réguler le trafic aérien de ces opérations émergentes à très haute altitude (*Higher Airspace Operations*).

Face à ces évolutions majeures il apparaît nécessaire de mettre en place une coopération entre tous les acteurs afin de garantir une utilisation sûre, responsable et équitable de cet espace.

Compte tenu des caractéristiques des nouveaux vecteurs envisagés (vitesse, altitude ou persistance) et de l'impact de leur multiplication dans un espace limité, les réflexions en cours sur le plan mondial, européen ou national, s'inscrivent aujourd'hui dans cette logique collective. La coopération et la coordination civilo-militaire sont des aspects essentiels à prendre en compte dans la régulation de ces opérations émergentes afin de préserver la sécurité aérienne de tous les acteurs et d'assurer l'équilibre entre le développement vertueux des activités commerciales ainsi que les enjeux de sécurité et de défense.

En réalité l'espace aérien supérieur n'est pas un nouveau milieu en tant que tel. C'est un espace connu qui n'a pas encore fait l'objet d'une réelle exploitation tant civile que militaire et n'a pas encore amené les États à établir les règles et stratégies pour l'utilisation de cet espace.

Ce sujet comporte de forts enjeux de souveraineté et potentiellement de nouveaux risques de conflictualité dans un environnement de durcissement de la compétition stratégique et de délitement de l'ordre international.

L'émergence de vecteurs très variés pouvant évoluer à très haute altitude et à très haute vitesse nécessite d'anticiper au plus tôt les menaces provenant de cet espace et d'élaborer une stratégie de défense de la très haute altitude qui intégrera la nécessité de nouveaux partenariats au niveau européen et de partenariats civilo-militaires.

Afin d'en inspirer les travaux pilotés par l'armée de l'Air et de l'Espace, référente dans la troisième dimension et présente dans les deux milieux air et espace, ce colloque marque le coup d'envoi des réflexions en la matière. Aujourd'hui nous poserons ensemble les premiers jalons de cette future stratégie de défense dans l'espace aérien supérieur.



Introduction de Xavier PASCO

On parle de plateforme aéronautique de haute altitude, d'hypersonique, de suborbital, de pseudo-satellite, de drones spatiaux. Cette montée en puissance de l'espace atmosphérique de très haute altitude conduit à s'interroger sur l'histoire des rapports entre l'air et l'espace. On est aujourd'hui au cœur du sujet avec l'armée de l'Air et de l'Espace, exemple explicite de la jonction entre ces deux environnements techniquement et historiquement distincts.

En apparence la référence à l'espace émerge soudainement en se distinguant de l'histoire aérienne ou de l'histoire de l'environnement aérien. L'histoire de l'espace est un peu une histoire par le haut, que l'on parle des premières réalisations spatiales comme Spoutnik ou de Gagarine pour le premier homme dans l'espace.

Surtout, l'espace est marqué par la nature unique du lien que l'Homme entretient avec lui. Dans l'histoire de l'environnement aérien, il s'agissait de parler de maîtrise, d'exploitation. À propos de l'espace, l'Homme est par contre confronté à un environnement hostile. Il ne s'agit pas pour lui de le maîtriser, mais de s'y introduire, de l'explorer, de savoir ce que l'on peut y faire, le tout de manière très ponctuelle.

Les difficultés posées par la jonction de ces deux environnements ont structuré les activités menées ces dernières années dans les deux domaines. C'est ce que sous-tend notamment l'histoire du film *l'Étoffe des héros*, qui dépeint les destins différents mais liés des aviateurs américains ayant opérés les premiers vols supersoniques et les premières missions suborbitales.

Singulariser l'espace permet de s'affranchir de l'espace aérien et de la souveraineté aérienne qui le caractérise. L'espace possède aussi des singularités techniques. Seules les fusées qui traversent fugacement ces hautes couches de l'atmosphère semblent faire la jonction entre ces deux environnements : l'environnement aérien contrôlé sous les 20 km et l'espace au-dessus des 100 km (ligne de Karman).

L'espace pose également de nouvelles questions liées à son accessibilité croissante. Vous avez entendu parler de ces astronautes d'un nouveau genre, ces touristes spatiaux qui ont fait une incursion dans l'espace et dont on se demande si on peut leur attribuer ou non le petit pin's d'astronaute. Il y a eu des discussions sans fin sur ce sujet.

Un rapide retour sur ces histoires parallèles montre que cette façon de voir a été essentiellement construite par le développement des techniques. On peut également observer que l'idée d'un continuum air/espace a été intégrée spontanément dès les débuts de l'histoire aéronautique. Les psychologues institutionnels américains utilisaient en effet déjà le terme aérospatial dès les années 1940.

Beaucoup de gens de l'équipe de Wernher Van Braun étaient à cet égard très impliqués dans des recherches qui ont eu trait à l'espace au-dessus de 20 km. Ces inspirations dataient de bien avant la Seconde Guerre mondiale, notamment en Allemagne, avec Eugen Sänger et le Silbervogel. Ces derniers avaient en effet conçu dans les années 40 un bombardier capable de voler juste au-dessus de 100 km d'altitude afin de pouvoir bombarder les États-Unis.

Tout cela a donné lieu à beaucoup de travaux aux États-Unis dans les années 1950. On a pu recenser le projet de création de planeurs transatmosphériques habités ou de capsules balistiques. En Union Soviétique, l'Institut Keldysh va également s'inspirer des travaux de Sänger pour développer ses propres projets de vol en très haute altitude.

L'histoire de l'aviation va également dans ce sens. Les avions américains X-1 jusqu'aux X-15 sont des véhicules pilotés qui viennent de la NACA⁵, l'ancêtre de la NASA. Du côté militaire, à l'inverse, on souhaitait davantage le développement de capsules pilotées, voire non pilotées ce qui posait un certain nombre de problèmes.

Très vite, ces divergences ont dessiné la distinction entre le vol spatial, d'un côté, et le balistique de l'autre. Les États-Unis et l'Union Soviétique mettront à cet égard l'accent sur le balistique, ce qui explique le développement précoce de ce domaine par rapport au vol spatial.



5. National Advisory Committee for Aeronautics.

L'idée d'investir l'espace aérien supérieur à 20 km n'est cependant pas nouvelle. Compte tenu des voies qui se sont ensuite constituées, de cette évolution naturelle qui a un peu sanctuarisé cet inter espace, qu'est-ce qui explique aujourd'hui le regain d'intérêt pour cet espace entre 20 et 100 km ?

Evidemment, il y a des progrès techniques et c'est essentiel, que ce soit en termes de matériaux ou de simulation. On sait aujourd'hui que l'Oiseau d'Argent de Sängner aurait fondu très vite dans les couches de haute atmosphère.

En raison de ces évolutions techniques, notre regard change à la fois sur l'aérien et sur le spatial. On parle de plus en plus de moyens spatiaux en réseau, en très basse altitude spatiale qui vont eux-mêmes constituer des réseaux avec des moyens spatiaux et non-spatiaux.

In fine, en réinventant les usages du spatial on recrée des conditions de l'appréhension de l'environnement aérospatial, c'est-à-dire avec à la fois des objets qui sont en l'air, des objets qui sont dans l'espace, des objets qui sont plus bas dans l'atmosphère, voire des objets qui sont au sol.

À partir de cette matrice de lecture, on observe de nouveau, dans les grands pays, un regain d'intérêt pour ce milieu à propos duquel on comprend mal la perte d'intérêt pendant toutes ces années. On parle des plateformes à haute altitude dont on pense de plus en plus que ce sont les éléments d'un réseau plus large. On parle de constellations en orbite basse. On parle de vol suborbital et de beaucoup d'autres techniques qui vont mettre de la substance sur ce milieu.

Cela reste à organiser. Il faut donner un sens à cet effort, c'est tout l'intérêt de ce colloque que d'essayer de tracer une voie.

On peut tous se projeter pour essayer de voir comment on peut, de manière ordonnée, investir ce nouvel environnement. Quelle coordination entre tous ces projets ? Quelle coordination politique ? Quelle coordination technique ? Il existe aussi la question de la réglementation de cet espace. En effet, si l'on est encore dans l'aérien, le principe de souveraineté s'applique. Or nous sommes à la limite entre le spatial et le non-spatial. Les sujets qui portent aujourd'hui sur la régulation du trafic spatial sont à cet égard nombreux.

Cela pose enfin la question des conséquences pour la défense. Ce qui est certain c'est que, dans cet intervalle de 80 km, on y développe des activités et parmi elles, bien sûr, des activités de défense.



« Mon projet en 180 secondes » par Nicolas MULTAN

La société HEMERIA est une ETI de près de 400 personnes pour 60 millions d'euros de chiffre d'affaires, sept sites industriels en France, un pied dans la défense et un pied dans le ciel et l'espace.

Aujourd'hui on parle de la très haute altitude, plus particulièrement du domaine stratosphérique. En rachetant la société CNIM Air Space en octobre 2022, nous intégrons au sein du groupe un leader européen dans les structures souples.

Nous travaillons pour le CNES depuis plus de 25 ans dans le domaine stratosphérique. Notre compétence est assez unique. Notre ligne de production de plus de 280 m de long nous permet de produire une gamme d'une dizaine de produits ballon à hélium qui sont dédiés aux missions scientifiques du CNES.

Nous avons une grande expérience de l'outil industriel, des procédés spéciaux, de l'héritage en vol, du retour d'expérience en vol et des opérations. Cela nous permet d'affirmer aujourd'hui que nous sommes prêts à relever les enjeux et les défis de la très haute altitude.

Notre deuxième atout est d'être partenaire de sociétés qui souhaitent explorer le domaine de la très haute altitude. J'ai en tête Thales Alenia Space, Stratoflight, Stratolia et Zephalto, avec qui nous discutons pour fournir les enveloppes souples de leurs systèmes.

Nous développons le projet BalMan avec le CNES, la DGA et un partenaire industriel dans le domaine du service. C'est un projet vraiment ambitieux, le souhait étant de développer dans la stratosphère un produit manœuvrant qui restera stable sur zone plusieurs mois durant. Nous travaillons sur géostationnaire abordable avec un potentiel militaire important. Il pourrait y avoir aussi des intérêts civils à l'exploitation d'un tel matériel. Il offrira de la persistance mais également de la performance, couple très important pour tout type de mission. C'est un produit que nous voulons voir en stratosphérique début 2025.



TABLE RONDE N°1 :

Quelles activités et organisations émergent entre l'espace aérien traditionnel et l'Espace ?

Ces opérations dans l'espace aérien sont devenues un sujet majeur. Expliquez-nous pourquoi.

Général de corps aérien Frédéric PARISOT

Le sujet des HAO nous intéresse. Un certain nombre d'activités et de projets commencent à se développer au-dessus de nos têtes. En tant qu'armée de l'Air et de l'Espace nous avons un intérêt particulier pour ce qui est entre l'air et l'espace. Il est probable que ces activités principalement commerciales entraînent des conséquences sur la façon dont les armées mènent leurs opérations, sous la forme de la protection du territoire national et de la population. Ce qui crée des opportunités crée des menaces potentielles. Il s'agit donc de savoir ce qui se passe au-dessus de nos têtes, notamment au-dessus du territoire national.

Les armées et l'armée de l'Air et de l'Espace en particulier s'intéressent depuis de nombreuses années à cette tranche d'altitude qui est essentiellement un lieu de passage aujourd'hui pour des missiles balistiques ou pour des opérations spatiales. On avait déjà quelques objets qui arrivaient à titiller le bas de cette tranche, comme le U-2 ou le Mirage 3 à l'époque qui montait jusqu'à 70.000 pieds, c'est-à-dire quasiment en haut de la stratosphère.

On considère que ce n'est pas un nouvel espace. C'est quelque chose que l'on connaît, qui se trouve à mi-chemin entre l'air et l'espace et qui va dans les années à venir avoir un certain nombre d'utilisateurs militaires ou civils qui doivent obéir à des règles.

Ce milieu a des caractéristiques que nous connaissons bien : l'absence de frontières physiques, la translucidité. C'est un accès qui peut être ouvert à tous ceux qui se donnent les moyens d'y parvenir ou d'y séjourner.

La cohabitation civile et militaire est essentielle. La convention de Chicago en 1944 a fixé les règles de l'espace aérien. La loi de 1967 a régi celles de l'espace. Il reste à définir des règles concernant les trajectoires, les entrées et les sorties du milieu et la déconfliction.

Ce qui nous intéresse dans cette tranche d'altitude c'est la connaissance, la surveillance, l'exploitation au titre de la souveraineté nationale, la protection des populations et du territoire national et les opérations militaires quand nous serons aptes à y parvenir

Quelles sont les évolutions ?

Général de corps aérien Frédéric PARISOT

C'est d'abord une affaire de persistance. On peut, en termes d'objets que l'on peut mettre à ce niveau, trouver des vecteurs qui ne sont pas dans l'aérien et qui retombent relativement vite, qui ne sont pas dans l'espace et qui retombent très tard.

Pour nous ce sont par exemple des moyens de communication si on a besoin d'avoir une zone spot que l'on surveille pendant un moment, des satellites éphémères ou de la surveillance large. Je pense notamment à la défense antimissile : mettre un certain nombre de ballons qui surveillent une zone comme la Corée du Nord pour savoir quelles sont les activités balistiques, mais également des détections vers le sol et vers l'espace.

Ce qui nous intéresse aussi, notamment pour la défense aérienne, c'est de savoir quel type de menaces se développent au-dessus de nos têtes. Dans ce milieu il y a trois éléments importants : la fugacité, la vitesse et la persistance.

La fugacité et la vitesse des armes ou des vecteurs hypersoniques nous posent un petit souci d'anticipation. Un avion de ligne qui vole à Mach 0.8 ou un avion de chasse qui vole à Mach 2 sont des choses qu'on arrive largement à anticiper. Nous avons les moyens de détection et d'anticipation qui nous permettent de voir arriver la menace et de la traiter. En termes de menace hypersonique, au-delà de Mach 5, il nous faudra des capteurs qui voient plus loin afin de conserver la capacité de préavis pour traiter ces menaces.



Ensuite il y a les vecteurs à grande persistance. Aujourd'hui on a 15.000 mouvements d'avion par jour au-dessus de la France. Des satellites passent en permanence mais ils sont fugaces. Quelle est la menace d'avoir des ballons qui se trouvent au-dessus de nos têtes pendant plusieurs mois et qui observent ce que l'on fait ? Ballons qui pourraient être de puissance concurrente, voire ennemie.

Ce sont des choses que l'on doit prendre en compte en tant que militaires pour les années à venir.

Il y aura probablement comme dans l'espace une grande dualité civilo-militaire avec des plateformes qui risquent d'être quasiment équivalentes. Avec le coût d'accès à cette tranche d'altitude probablement beaucoup moins cher que dans l'espace, certaines nations ou organisations pourraient se doter de ballons qui resteraient au-dessus de nos têtes pendant plusieurs mois et donc compromettre un certain nombre de nos activités.

Côté offensif, il faudra être présent dans les trois milieux (aérien, HAO, espace) avec un équilibre entre les trois et choisir les meilleurs vecteurs pour la meilleure mission. On parle de charge utile. Quelle charge utile on met dans quelle tranche d'altitude ? Derrière il y a une notion de résilience. Si on nous empêche l'accès à l'espace, comment compenser par d'autres vecteurs dans d'autres tranches d'altitude ?

Quel est l'objectif affiché par le ministère des Armées ?

Général de corps aérien Frédéric PARISOT

Nous avons lancé des réflexions il y a plusieurs mois en regardant ce qui se passait à la fois au niveau de l'Union européenne et de l'OACI⁶. Nous avons proposé au chef d'état-major des armées de poursuivre la réflexion. Il nous a confié un mandat qui donnera lieu à une feuille de route à l'été 2023 où l'on va définir la partie mission et moyens pour permettre d'être présent dans le développement de ces HAO.

Cela fait quelques années que nous entendons parler de Stratobus. Qu'en est-il ?

Hervé DERREY

Thales Aliena Space est un acteur bien connu dans le domaine des infrastructures spatiales, en particulier auprès du ministère des Armées, avec des missions telles que les communications satellites sécurisées, le renseignement d'origine image ou le renseignement électromagnétique. En revanche nous sommes beaucoup moins connus pour notre contribution dans le domaine émergent des ballons stratosphériques. Ce domaine d'innovation de rupture a été initié récemment en 2016 dans le cadre du programme de la Nouvelle France industrielle porté par l'État, soutenu par le pôle de compétitivité Safe et par un certain nombre de régions dont la région Sud qui a été en très fort appui de ce sujet.

Le « plus léger que l'air » est une idée bien ancienne mais qui s'avère très moderne. La poussée d'Archimède est à la fois gratuite, pérenne, écologique et disponible partout sur Terre. Ce concept de dirigeable s'est pourtant heurté à un certain nombre de verrous technologiques critiques pour sa réalisation ainsi qu'à des conditions météorologiques compliquant sérieusement son exploitation.

Les progrès technologiques, notamment sur les matériaux et l'énergie, permettent de revisiter de nouvelles architectures de plateformes mais aussi l'utilisation du concept de dirigeable dans la stratosphère, celle-ci offrant des conditions de vents beaucoup plus calmes et prévisibles, ce qui est une condition de pérennité de ce type de mission. Cela permet d'offrir une solution de plateforme géostationnaire dans la stratosphère, au-dessus du trafic aérien mais suffisamment proche de la Terre pour des missions duales de surveillance, d'observation et de télécommunications.

Pour nous qui sommes des fournisseurs d'infrastructures spatiales, être au niveau de la stratosphère a un gros intérêt. Les capteurs sont beaucoup plus proches de la Terre et offrent des performances bien meilleures. En termes de télécommunications, cela permet d'avoir des bilans de liaison, des signaux beaucoup plus forts.

Notre concept de dirigeable stratosphérique sera placé à 19 km d'altitude et offrira une permanence sur un point donné pour une durée de mission pouvant être d'un an en continu. Il sera composé d'une enveloppe souple et maintenue sous pression par de l'hélium en surpression avec un système de propulsion électrique entièrement autonome alimenté par l'énergie solaire.

⁶ Organisation de l'Aviation Civile Internationale.



Stratobus a été conçu pour emporter des charges utiles pouvant aller jusqu'à 250 kg et 5 kilowatts de puissance. C'est un des éléments différenciant par rapport aux autres initiatives du même type qui offrent en général des emports beaucoup plus limités.

Les charges utiles de Stratobus permettront d'utiliser pleinement la zone de couverture à cette altitude de 19 km qui correspond à un diamètre d'environ 1 000 km et permettront d'embarquer des radars à longue portée, des télécommunications 5G aux militaires ou encore des antennes étendues pour la guerre électronique.

En nous lançant dans cette aventure on pensait que les premières applications seraient purement civiles mais on s'aperçoit qu'elles sont plutôt dans le domaine de la défense et de la sécurité. Les applications visées sont essentiellement dans les zones de l'arc de crise pour des missions de surveillance dans le cadre des conflits où nos forces ont la maîtrise du ciel, condition sine qua none pour déployer ce type de moyen. Elles permettront d'augmenter les capacités des systèmes C4ISR actuels en termes de durée, d'étendue de mission, de permanence et offriront également un coup réduit d'opération.

L'aventure Stratobus a été rendue possible grâce à la participation décisive de la DGA qui a compris très vite l'enjeu de la stratosphère pour la défense. Grâce à son soutien, Thales Alenia Space a pu renforcer son effort d'investissement dans cette innovation de rupture et développer des compétences de rang mondial. Cette stratégie a payé, suite à la première impulsion avec Nouvelle France industrielle nous avons été sélectionnés fin 2022 par le Fonds européen de défense (FEDef). Celui-ci prévoit le développement et la réalisation de démonstrateurs de dimension à échelle réduite, soit 50 % de la taille du futur Stratobus qui sera de 120 m de long.

En collaboration avec l'Espagne, l'idée est de faire voler les premiers démonstrateurs en 2025 sur l'île de Fuerteventura aux Canaries. Cette démonstration comprendra également des démonstrateurs allemands et italiens. Cela représente un élément majeur dans le domaine des HAPS.

Est-ce que cela ne rentre pas en concurrence avec vos satellites ?

Hervé DERREY

Ces domaines sont complémentaires. Les satellites sont capables de couvrir des continents, voire le monde entier lorsqu'il s'agit de constellations. Stratobus ne couvre qu'une région de manière permanente (1 000 km de diamètre). L'avantage des satellites c'est qu'ils n'ont pas besoin de demander des autorisations de survol.

Prenons l'exemple de la connectivité pour laquelle cette notion de complémentarité est assez claire, non seulement entre la haute altitude et l'espace mais également dans une stratégie plus générale du multi-orbites. Dans l'espace et dans le domaine de la connectivité on peut aussi bien avoir des constellations d'orbites basses que des satellites géostationnaires. Stratobus offre une solution pérenne à des coûts limités mais il a un certain nombre de limitations, en particulier si on est face à un conflit à haute intensité. Ni les équipements télécoms que l'on peut embarquer sur un Stratobus à haute altitude ni les constellations LEO ou MEO ne peuvent être rendus robustes pour contrer à la fois les effets des brouilleurs mais également pour se prémunir contre des effets d'armes à énergie dirigée qui sont en cours de développement.

C'est pour cela que nos alliés renouvellent et cherchent à se doter de satellites souverains géostationnaires, ce que l'on fait avec Syracuse aujourd'hui. Personne n'a baissé la garde dans ce domaine, que ce soient les Américains, les Anglais, les Italiens ou les Allemands. On voit même l'Australie se doter de satellites géostationnaires résilients.

Cette capacité est indispensable en situation de guerre nonobstant l'existence de Stratobus ou de constellations comme la future constellation européenne Iris2. La concurrence de notre point de vue ne se pose pas.

Vous travaillez sur des projets d'avions spatiaux. De quoi s'agit-il ?

Marc VALES

Comme les bateaux qui montent aujourd'hui sur hydrofoils pour aller plus vite et s'affranchir des clapots, les avions spatiaux peuvent aller plus vite, quasiment jusqu'à la vitesse de la satellisation terrestre (environ 8 km/s) en s'affranchissant des frottements sur l'atmosphère. Ils doivent être propulsés en aérobic avec des moteurs fusées, être



capables de rentrer dans l'atmosphère par le haut et d'y évoluer. L'idée n'est pas que ce soit balistique mais qu'on soit capable de les manœuvrer sans qu'ils se transforment en boule de feu et en plasma.

Les avions spatiaux diffèrent des lanceurs spatiaux chargés de mettre des charges en orbite, des satellites classiques qui ne sont pas destinés à revenir sur Terre avec des hommes à bord ainsi que des capsules puisqu'ils n'offrent ni les mêmes capacités de manœuvre ni les facilités d'emploi.

D'une certaine façon ils complètent les lanceurs et les satellites dont ils reprennent une partie des technologies spatiales. Ils apportent une réutilisation, une souplesse d'emploi et une fiabilité principalement héritée de l'aéronautique dont on reprend les grands concepts d'architecture, les concepts de dimensionnement, une certification qui permet l'emport de passagers payants mais au détriment d'une perte de performance. Les lanceurs sont destinés à lancer donc tout est fait pour qu'on lance le maximum. Quand il s'agit d'un avion spatial c'est sa réutilisation, sa fiabilité et sa flexibilité d'emploi qui priment. On perd à peu près la moitié de la performance en charge utile telle qu'elle a été exprimée pour les lanceurs.

En nous mettant du côté des principes de conception et de certification de l'aéronautique, nous espérons obtenir des performances de fiabilité différentes, bien meilleures que celles du spatial, sachant que l'on perdra de la performance pure mais pour la réutiliser plusieurs fois. Plutôt que d'emporter quelque chose en une seule fois, on est capable de voler cent fois en n'emportant que la moitié. Au final, on emportera cinquante fois plus.

Dassault Aviation, qui dessinait à l'époque le Space Rider et son démonstrateur, a poursuivi des études sur une famille complète avec des évolutions successives. On a donné le nom de Smart Astrée à une famille d'avions spatiaux que l'on propose à l'ESA en partenariat avec Thales Alenia Space et d'autres acteurs du spatial, pour des études préparatoires au vol habité européen qui doivent déboucher avant la prochaine conférence ministérielle afin de voir si l'Europe se dote d'un moyen autonome d'accès à l'espace.

Cette famille de véhicules préfigure des opérations hypersoniques à très haute vitesse et à très haute altitude qui pourraient survenir de plus en plus souvent dans les prochaines décennies. À ce sujet Dassault Aviation a piloté un *workpackage* au sein du projet ECHO⁷ de l'Union européenne, qui vient de se conclure à Bruxelles chez EUROCONTROL, pour proposer un concept opérationnel permettant d'accueillir dans le trafic aérien à la fois des véhicules très lents comme les pseudo-satellites et des véhicules hypersoniques à très haute vitesse. Tout cela dans un concept qui serait maîtrisé de façon commune.

Un mot sur l'exploitation de cette fameuse zone avec du militaire et du civil. De quoi s'agit-il précisément ?

Marc VALES

Il s'agit du trafic aérien civil mais dans lequel les militaires sont déjà intégrés donc il faudra continuer à intégrer les militaires qui ne sont pas toujours en guerre. Dans cette famille de véhicules hypersoniques, dont la vitesse est largement supérieure à Mach 10, on trouve des drones autonomes effilés capables de subir d'énormes accélérations et des élévations de température ou des avions spatiaux habités aux formes plus généreuses pour limiter les charges aérodynamiques et thermiques, plus volumineux mais également plus énergétiquement favorables puisque propulsés à l'hydrogène.

À partir de ce concept on peut aussi bien adresser des missions militaires que des missions civiles en jouant à la fois sur la taille, sur le mode de propulsion et sur les différentes phases de vol.

Nous travaillons plutôt sur des architectures à géométrie variable dont le comportement s'adapte en fonction des phases différentes entre l'ascension la plus courte possible dans l'atmosphère, la meilleure mobilité dans l'atmosphère, la rentrée atmosphérique hypersonique la plus sûre possible et l'atterrissage plutôt classique sur Terre.

En synthèse, les avions spatiaux permettent à la fois d'aller plus haut, plus vite et plus loin tout en étant propres si on les fait fonctionner à l'hydrogène. La manœuvrabilité hypersonique permet à la fois d'être fugace, peu prévisible et peu interceptable à cause de la vitesse. On devine les applications militaires sous-jacentes. Cela s'applique aussi bien aux objets qui peuvent rester suborbitaux ou bien à des objets qui quittent l'orbite pour revenir sur Terre.

7. *European Concept for Higher airspace Operation.*



Côté commercial, le basculement vers une énergie propre et infinie bénéficiera l'économie spatiale de demain, notamment avec l'exploitation de centrales solaires spatiales. Le soleil est un énorme gisement d'énergie. L'orbite géostationnaire à elle seule reçoit 150 fois le besoin de l'humanité en énergie. Les chiffres d'affaires n'ont plus rien à voir avec l'économie du spatial. En 2021 se sont vendus sur Terre 600 exajoules pour environ 10.000 milliards de dollars.

Il faudra hisser les centrales en orbite basse, les exploiter, les maintenir et les piloter. Elles représentent chacune la puissance de plusieurs centrales nucléaires. Il faudra également garantir la continuité de service puisqu'il y aura des millions d'utilisateurs. Cela ne peut pas se faire sans présence humaine permanente même si c'est en géostationnaire. Tout le trafic passager qui en découle passera par cette haute atmosphère à l'aller et au retour afin que cette énergie puisse être distribuée sous forme d'électricité ou sous forme d'hydrogène à l'ensemble des humains.

Il existe une probabilité importante pour que l'avenir des activités spatiales passe par cette génération d'énergie décarbonée. Les États européens ont intérêt à coordonner leurs champions pour garder le contrôle géostratégique de notre arc géostationnaire (Europe – Afrique - Moyen-Orient) de façon à pouvoir y transporter les choses qui nous sont utiles (centrales solaires spatiales ou moyens de télécommunications) et assurer la permanence d'opérateurs sur place afin de ne pas être obligés de recourir à des Américains ou des Chinois. La course est lancée. Il est encore possible de résister aux Américains et aux Chinois au-dessus de nos têtes et au-dessus de la tête des géants d'énergie fossile qui investissent aujourd'hui des centaines de milliards dans leur transition. On est en mesure de les aider, ils en ont besoin et en ont les moyens.

Parlez-nous de votre réflexion chez Airbus sur les opérations dans l'espace aérien supérieur et un focus particulier sur Zephyr. De quoi s'agit-il ?

Stéphane VESVAL

Chez Airbus, on regarde entre l'espace et l'espace aérien. On le voit comme un continuum et une complémentarité de toutes ces utilisations. On le regarde à la fois sous un angle technologique et sous un angle de concept d'opérations.

La plateforme Zephyr est née de la société britannique Qinetiq que l'on a rachetée en 2013. Zephyr-8, plateforme la plus mûre en vol depuis 2018, nous permet d'acquérir toute notre expérience en termes de vol dans l'espace aérien supérieur. En 2022, Zephyr-8 a fait un vol en continu de 64 jours.

Toute notre approche est articulée autour de deux concepts principaux : la permissivité des espaces aériens et la persistance en complémentarité par rapport aux orbites basses spatiales qui sont des orbites défilantes.

En termes de permissivité, notre souci principal et notre objectif principal est d'avoir la capacité de pénétrer les espaces aériens, que ce soient des espaces ouverts dans des missions de sécurité, des espaces moins permissifs, semi-permissifs ou non-permissifs. À cet effet, Zephyr a pour objectif d'avoir la signature la plus faible possible de manière à pouvoir rentrer dans ces espaces non-permissifs.

Zephyr-8 embarque à bord. Aujourd'hui on teste la charge utile OPAZ qui nous permet de faire de l'observation à une résolution de 18 cm. La persistance offre l'avantage très fort d'être en mode non pas juste d'imagerie mais de vidéo. On peut assurer une vidéo à 18 cm de résolution sur 1 km².

On travaille également sur le projet BalMan parce qu'on voit une complémentarité entre les deux sur la manière de les opérer.

Tous ces systèmes ne vont pas servir en pure autonomie, ils ont vocation à servir en réseau entre eux ou avec d'autres, notamment avec les systèmes spatiaux. La connectivité et l'interconnectivité entre ces plateformes et les plateformes spatiales sont donc des sujets très importants. Aujourd'hui, on opère ces plateformes par satellite en termes de contrôle. Il faut qu'on passe à la vitesse supérieure de manière à pouvoir opérer les charges utiles.

On veut également ramener un autre domaine d'expertise qui est celui des télécommunications par laser optique qu'on maîtrise très largement dans le domaine spatial. On voit là un véritable intérêt et une véritable application de ces systèmes dans l'espace aérien supérieur.



Quel modèle économique envisagez-vous pour la gestion des opérations dans cet espace aérien supérieur ?

Stéphane VESVAL

On regarde toujours plusieurs modes opératoires. Comme on l'a fait sur de nombreuses plateformes, que ce soit dans le système spatial ou dans le système aéronautique, on regarde également comment on peut soutenir tant en termes de fourniture d'infrastructures qu'en termes d'opérations comme on le fait sur les drones, les satellites d'observation ou les satellites géostationnaires.

On voit deux domaines d'application principaux dans cet espace aérien supérieur : un espace pur de souveraineté et d'opérations militaires mais aussi un domaine sécuritaire comme la surveillance de zones larges, notamment maritimes, dans lequel un domaine économique de service doit et peut se mettre en place. C'est celui sur lequel on travaille activement.

Pouvez-vous nous parler de la manière dont vous anticipez la préparation technologique des systèmes qui permettront d'investir demain cette zone ?

Ingénieur en chef de l'armement Jean-Baptiste PAING

Une des missions principales de la DGA est d'arriver à anticiper sur les technologies nécessaires pour investir de nouveaux champs. Lorsque quelque chose devient une réalité opérationnelle, un domaine opérationnel, si on n'a pas anticipé des années avant, le temps de développement de la technologie étant par essence long, on est déjà en retard.

Concernant le domaine de l'espace aérien supérieur, on n'a pas forcément les moyens de mener une politique de prospective large donc il faut faire des choix, il faut cibler.

À la DGA, cela s'est traduit par le financement de démonstrateurs de planeur hypersonique et, dans le domaine des plateformes stratosphériques, par le soutien à certaines initiatives comme les dirigeables. Ce n'est pas arrivé de nulle part. On s'est posé la question dès 2018. On a mené des études prospectives technico-opérationnelles afin de réfléchir aux différents concepts possibles.

Dans le domaine des plateformes stratosphériques on a aujourd'hui trois concepts : les dirigeables, les principes de ballons manœuvrant ou les ailes volantes, les drones stratosphériques.

Nous nous sommes concentrés sur les plateformes de type ballon manœuvrant et dirigeable. Ce choix a été fait en relation avec les besoins exprimés par l'armée de l'Air : des capacités de très longue permanence sur zone et des capacités d'emport. Ces capacités sont accessibles aujourd'hui à des plateformes de type ballon ou dirigeable. On peut emporter beaucoup plus de charges utiles que sur une plateforme de type ailes volantes. C'est important. Si on cherche une permanence, on aura des charges utiles de type radar qui vont nous permettre d'observer de manière persistante indépendamment des phénomènes météorologiques ou des phénomènes jour/nuit. On donne une priorité moindre aux charges utiles de type optique qui peuvent être empêchées par ces mêmes phénomènes.

Il existe de très nombreux défis technologiques. En premier lieu la capacité en termes de matériaux de structure. Réaliser des enveloppes de dirigeables avec de tels volumes est une compétence qu'il reste à construire. C'est également la maîtrise de la qualité des capteurs que l'on va mettre à bord. Lors d'une mission aérienne, les senseurs fonctionnent pendant quelques heures. Pour une mission spatiale, ils fonctionnent plusieurs années mais rarement de façon continue. On rentre dans un nouveau concept intermédiaire. Avoir une qualité d'électronique qui le permette n'est pas forcément acquis dès le départ, il y a des paliers à passer.

Sur quelles compétences et sur quels moyens la DGA peut-elle s'appuyer pour atteindre ces objectifs ?

Ingénieur en chef de l'armement Jean-Baptiste PAING

En termes de compétences, on a la chance en France d'avoir un tissu industriel déjà riche. On a également la chance d'avoir le CNES, opérateur reconnu mondialement dans la mise en œuvre des ballons stratosphériques. Certains de nos partenaires européens font appel au savoir-faire français pour la mise en œuvre de ce type de moyens. L'un des enjeux des prochaines années est que ce savoir-faire, qui aujourd'hui est un peu du côté étatique, puisse être transféré à des opérateurs industriels.



Les nombreuses qualités et compétences à la fois au niveau étatique et au niveau industriel s'inscrivent dans un contexte largement dual. Ce qui est intéressant parce que cela nous permet de mobiliser différents leviers à plusieurs niveaux. Ce domaine n'est pas nécessairement une spécificité de la défense.

Le projet d'HEMERIA, soutenu par la défense, a été initié dans le cadre du plan de relance de l'économie en 2020 en premier lieu sur des financements civils, maintenant on prend le relais. Il en va un peu de même du projet Stratobus qui a bénéficié de deux financements régionaux en complément de financements défense. On peut également porter cela en termes de partenariat au niveau européen. Le Fonds Européen de Défense porte aujourd'hui un projet dans lequel Thales est candidat avec Stratobus mais il y a également d'autres initiatives menées par l'Allemagne et par l'Italie. L'idée est de tester plusieurs concepts pour voir quel peut être le plus pertinent et d'arriver à sélectionner le meilleur.

Quelles sont aujourd'hui les actions indispensables que l'on doit conduire pour assurer la protection et le fonctionnement nominal de ces systèmes spatiaux dans cette zone ?

Général de division aérienne (2S) Pascal LEGAI

La question est de savoir quel est l'impact de l'activité de l'ESA dans cette tranche de haute atmosphère. On a déjà évoqué le continuum entre la partie atmosphérique et extra-atmosphérique. L'activité spatiale est obligée de transiter par l'atmosphère avant d'atteindre les différentes orbites pour mettre en place nos systèmes et il faut revenir. Certains objets reviennent sur Terre.

On peut distinguer différents types de protection. Une protection physique des segments sols et spatiaux. Une protection en termes de coopération, nos partenaires qui coopèrent sur une mission ont à cœur que les systèmes fonctionnent de façon nominale et protégée. Une protection par l'industrie. Nous avons là d'excellents exemples d'acteurs privés qui ont montré ce qu'ils sont capables de faire en termes d'innovation et donc de contribuer à la protection de nos systèmes. Et puis il y a une partie essentielle qui est la partie légale. Ce cadre est aujourd'hui à peu près inexistant sur beaucoup d'aspects d'activités spatiales.

On ne l'a pas anticipé ?

Général de division aérienne (2S) Pascal LEGAI

Les grands acteurs spatiaux ne sont pas enthousiastes à l'idée de mettre en place un cadre qui serait trop contraignant pour mener leurs activités.

En termes de protection, aujourd'hui, une approche couvre ces différents domaines. On parle de *Space Traffic Management*, de gestion du trafic spatial. La Commission européenne en donne une définition qui est celle des moyens et règles permettant d'accéder à l'espace, de mener des activités dans l'espace et d'en revenir de manière sûre, viable et sécurisée.

Différentes composantes de la gestion du trafic spatial sont prises en compte par l'Union européenne. La Commission et le Parlement sont assez actifs sur le sujet. On parle de capacité de surveillance efficace de l'espace, de réduction des débris, de cyber, de météo spatiale, de gestion des orbites et du spectre électromagnétique, du cycle de vie des opérations spatiales, du lancement, de la partie en orbite et de la rentrée atmosphérique. Le cadre de normes et de règles internationales, assez pauvre actuellement, est également un sujet de préoccupation.

Nos systèmes d'accès à l'espace génèrent un certain nombre de transits dans l'atmosphère. Des éléments tels que les boosters ou les coiffes reviennent sur Terre. Des sociétés, notamment américaines, mettent aujourd'hui en place la capacité d'avoir un premier étage qui revient sur Terre ou des boosters récupérables.



Comment l'ESA peut-elle influencer l'évolution du cadre légal international concernant les activités menées dans l'espace extra-atmosphérique ?

Général de division aérienne (2S) Pascal LEGAI

L'ESA possède deux leviers pour agir. Elle n'est pas un acteur politique, son ADN c'est sa capacité en recherche et développement. Elle peut influencer le cadre légal principalement par deux moyens.

En premier lieu par l'exemple. Aujourd'hui l'élimination des débris est un grand problème. L'ESA est la première agence au monde à mettre en place une mission en collaboration avec la société suisse ClearSpace SA qui a prévu d'éliminer les débris à partir d'un vaisseau spatial équipé d'une pince.

Puis en termes de compétences techniques. L'ESA est l'un des observateurs permanents du Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique (COPUOS). Elle intervient en tant que conseiller technique et peut contribuer à l'évolution du cadre légal international.

Le secteur privé tire-t-il vers le haut les acteurs du public dans ce domaine ?

Marc VALES

Certaines étapes de démonstration ne sont pas faisables sur Terre en raison des conditions énergétiques particulières de cette zone entre l'atmosphère et l'espace qu'il n'est pas facile de manager. Ces étapes de démonstration sont difficilement à la portée d'un business model classique purement financé par le privé.

En revanche dès lors qu'on se projette sur des utilisations de cette zone pour aller servir l'espace beaucoup plus fréquemment avec plus d'êtres humains qui vont y travailler, il y a un intérêt aujourd'hui clair pour utiliser l'espace à des fins commerciales, les États-Unis et la Chine en sont des exemples. La question est de savoir si nous voulons être à bord, si l'on peut faire se rejoindre des attractions venant du monde commercial avec des compétences privées qui peuvent être mobilisées et une gestion des risques permettant de lever des verrous technologiques qui sont difficilement appréhendables directement par le secteur privé.

Ingénieur en chef de l'armement Jean-Baptiste PAING

On ne pourra avancer qu'en partenariat entre le public et le privé. Le modèle purement privé dans cet espace n'est pas forcément évident.

Google en 2016 a développé les ballons Loon, pensant donner un accès à Internet dans les zones les plus reculées. Ils ont jeté l'éponge en 2021 et cédé leur entreprise. L'initiative Stratobus est partie sur un business commercial et finalement on s'aperçoit aujourd'hui que les cas d'application sont plutôt militaires.

On sent qu'on va être dans un modèle mixte assez comparable au spatial sur ce plan. Un marché existe sans doute pour certaines applications civiles, mais il faudra de la R&D financée par la puissance publique. Il faudra que ce modèle repose sur ces deux pieds pour pouvoir exister.

Stéphane VESVAL

Ce qui est intéressant c'est ce va-et-vient entre le public et le privé. Zephyr a été une initiative purement privée. Les gouvernementaux s'y sont intéressés après. On a développé des formes d'utilisation de cette plateforme. On s'implique dans le projet BalMan pour y transposer des technologies appliquées sur Zephyr.

Il y a une véritable complémentarité et on va voir ce va-et-vient un peu permanent sachant que la plateforme c'est une chose mais c'est tout un Conops qui va avec et c'est tout un système à mettre en place.

Jusqu'à quelle altitude la souveraineté d'un État s'exerce-t-elle ? La législation pourrait-elle évoluer ?

Général de corps aérien Frédéric PARISOT

Aujourd'hui c'est le niveau 660, 66.000 pieds. Un U-2 qui décolle de Grande-Bretagne pour aller au Moyen-Orient passe au-dessus de la France sans rien ne demander à personne. Cela ouvre la question de savoir jusqu'où faut-il exercer notre souveraineté. Les règles restent à définir.



Compte tenu des besoins de coordination de réglementation et des enjeux économiques et sécuritaires de la HAO et du milieu spatial, ne faudrait-il pas créer une organisation étatique de type action de l'État dans l'espace à l'instar de l'action de l'État en mer ?

Général de corps aérien Frédéric PARISOT

On essaie déjà de créer l'action de l'État en l'air. On espère qu'avec la loi de programmation militaire le sujet va avancer. L'espace n'appartient à personne. On a signé des conventions qui évitent de mettre des armes dedans. À partir du moment où il n'y a pas de frontières, nos satellites survolent tous les pays en 1h30. Si on arrivait à maîtriser ce qui se passe au-dessus de nos têtes de façon permanente, l'air et éventuellement les HAO, ce serait déjà pas mal.

Général de division aérienne (2S) Pascal LEGAI

Le traité de 1967 fait toujours référence avec un certain nombre de conventions et d'accords consécutifs. Il n'y a pas de notion de territorialité ou d'appropriation dans l'espace. Aujourd'hui se pose la question de l'exploitation des ressources, notamment des corps célestes. Les Américains ont pris des initiatives avec le *Space Act* de 2015 et avec les accords *Artemis*. Ils essaient de montrer qu'il n'y a pas d'appropriation en termes de territoire, de géographie, mais en termes d'exploitation des ressources le traité de 1967 et les documents qui suivent ne sont pas clairs. Rien n'empêche d'exploiter les ressources, semble-t-il, à des fins nationales alors qu'il n'y a pas de territoires, cela n'appartient à aucun État.

La mission principale du Stratobus est-elle la guerre électronique ? Cette plateforme pourrait-elle intéresser l'armée de l'Air et de l'Espace ?

Hervé DERREY

C'est une plateforme multi-missions. 250 kg de charge utile, 5 kilowatts de puissance. On peut y adjoindre tout type de mission, des missions de télécommunications ou de surveillance. On n'a pas fermé le champ. Tout ce qui peut utiliser cette permanence et cette durée de mission peut être exploité. Quand cet outil aura fait ses preuves, il sera intéressant pour l'armée de l'Air et de l'Espace.

Général de corps aérien Frédéric PARISOT

Ce qui nous intéresse c'est la taille de la charge utile et sa polyvalence. Qui dit charge utile dit alimentation électrique. Le gros challenge de ces vecteurs est de pouvoir pendant plusieurs mois avoir suffisamment d'énergie pour alimenter les charges utiles qui sont en général consommatrices.

Le Stratobus annonce un diamètre d'action maximal de 1.000 km. À quel besoin d'observation terrestre ce diamètre peut-il répondre ?

Hervé DERREY

Des missions de type guerre électronique par exemple, la communication et l'observation. À cette altitude on peut faire de l'observation optique ou radar, c'est applicable à ce genre d'outil.

Y a-t-il une concertation européenne pour les enjeux de défense dans la haute altitude ?

Ingénieur en chef de l'armement Jean-Baptiste PAING

Il y a aujourd'hui des projets européens communs. Le fameux projet Euro-HAPS a été sélectionné dans le cadre du Fonds Européen de Défense au titre du programme de travail de l'année 2021. Y sont notamment présents l'Allemagne, la France, l'Italie, l'Espagne et la Hongrie. Cela montre un intérêt de plusieurs nations européennes pour ce type de plateforme.

Au-delà de ce projet précis il n'y a pas encore de forums constitués pour réfléchir plus largement sur tous les enjeux de la HAO mais cela devra venir. Ce sont des questions qui ne doivent pas être traitées par un seul pays. Elles seront forcément internationales dès qu'on parlera de régulation. Il faudra être à plusieurs.



Quelles sont les nations les plus avancées dans les plateformes en haute altitude ?

Général de corps aérien Frédéric PARISOT

Les Britanniques s'y intéressent avec Zephyr. Pour rebondir sur la question d'avant, les chefs d'état-major des armées de l'air commencent à en discuter. De plus en plus de nations européennes comprennent maintenant l'espace dans leur périmètre, à l'instar des Britanniques ou des Espagnols. Il y a un souci de légitimité de pouvoir parler d'une zone de l'espace qui n'appartient à personne et qui n'a pas de règles précises. La plupart des armées de l'air ont des projets sans pour autant avoir des choses qui sont aujourd'hui tangibles.

Stéphane VESVAL

Avec Zephyr, on touche le record mondial d'opération autonome. Il n'y a ni personne à attendre ni personne à suivre mais une initiative à prendre. Je reviens sur cet aller-retour permanent qu'il y a entre le public et le privé et sur cette stimulation permanente.

Quel mot de conclusion souhaitez-vous offrir sur les objectifs, les ambitions que vous partagez les uns et les autres et ce travail commun ?

Ingénieur en chef de l'armement Jean-Baptiste PAING

C'est un champ capacitaire nouveau, beaucoup de choses restent à construire même si beaucoup de concepts existent depuis longtemps. On y arrivera sûrement au travers d'un plan avec des feuilles de route construites en commun entre la sphère étatique et la sphère privée. Ce travail en commun permettra d'avancer dans ce domaine.

Général de division aérienne (2S) Pascal LEGAI

Pour la partie technique et innovation on sait toujours faire. On a suffisamment d'ingénieurs et de chercheurs brillants capables de trouver des solutions. Les aspects politiques et légaux sont déterminants pour permettre un consensus européen et international.

Stéphane VESVAL

Les aspects les plus importants sont la complémentarité et l'interconnectivité des systèmes en ayant bien en tête que ce sont des systèmes et pas seulement des plateformes qui auront à interagir ensemble.

Marc VALES

La notion sous-jacente de temps n'a pas été mentionnée. Il s'agit de projets qui ont besoin d'une maturité dans le temps à la fois sur l'identification des besoins, sur la levée de toutes les difficultés technologiques, sur la façon d'être financés puis sur les applications qui conduisent à des services. Donc il faut avoir une vision lointaine et réussir à la partager. Si on ne fait que des petits pas dans tous les sens on n'y arrivera pas.

Hervé DERREY

Conquérir ces nouveaux espaces va faire appel à des innovations de rupture. Celles-ci sont atteignables en France et en Europe puisqu'on possède de très grandes compétences mais cela passera par cette coopération très forte entre public et privé comme on a pu la mener jusque-là. J'encourage cette coopération à continuer pour aller au-delà de ces défis technologiques.

Général de corps aérien Frédéric PARISOT

On ne peut pas être absent de cette tranche d'altitude. C'est probablement à partir de la moitié de la prochaine décennie qu'on aura des capacités opérationnelles. Nous allons prendre le temps de réfléchir et nous livrerons au mois de juin le fruit de notre réflexion au chef d'état-major des Armées.



« Mon projet en 180 secondes » par Jean-Luc DIEMUNSCH

Notre projet est de proposer une expérience de voyage stratosphérique dans une capsule pressurisée.

Dès les premières idées, les considérations environnementales étaient clés, aussi bien pour permettre une découverte à terme accessible de notre planète par nos voyageurs que pour la conception de nos produits et de nos procédés pour qu'ils soient éco-responsables, en visant une réutilisabilité entre plusieurs opérations. On s'aperçoit que c'est structurant, notamment en phase de recrutement et, dans la guerre des talents, cela peut faire la différence entre deux ingénieurs qu'on veut attirer.

Notre objectif est d'intégrer cette expérience contemplative et environnementale dans un parcours de savoir-faire à la française dans le domaine du voyage et du luxe qui est, avec l'aéronautique et le spatial, une autre filière d'excellence française. L'objectif est d'attirer une clientèle mondialisée, en provenance à 80% de l'extérieur de l'Europe.

Dès le début, nous avons eu en tête les aspects de sécurité. Je voudrais remercier tous les acteurs qui permettent la construction d'un cadre réglementaire dans lequel nous pourrions opérer à partir du territoire et continuer à intégrer notre projet dans l'économie française du tourisme de luxe et de l'aéronautique avant d'exporter notre savoir-faire.

2023 s'annonce très dense. Les prochains mois seront intenses avec le développement et les essais. Notre capsule a été réalisée avec un architecte français de renom. Nous annoncerons prochainement l'équipe industrielle associée.

Je remercie l'ensemble de nos partenaires notamment le CNES et son savoir-faire unique en Europe, qui offre une plateforme pour les projets de notre genre.



TABLE RONDE N°2 : *Quelle volonté française de réguler l'espace aérien supérieur (HA : Higher Airspace) ?*

Les activités émergentes en haute altitude génèrent des interactions, voire parfois des interférences avec des activités aériennes et spatiales avec lesquelles elle est obligée de coexister. Quels sont les enjeux précis pour la défense ? La régulation est-elle une des réponses que l'on peut apporter ?

Général de division aérienne Stéphane VIREM

Il est important de s'interroger sur trois points essentiels. Le premier est de savoir en quoi les HAO et leur exploitation sont différentes de ce qui existe aujourd'hui dans les basses couches et dans l'espace. Le deuxième est de savoir ce qu'on entend par régulation, au sens de ce qui est pratiqué aujourd'hui et s'il est possible de transposer les modèles que l'on connaît aux HAO, tout ou partie. Le troisième point concerne les enjeux de défense étatique sur ce sujet.

La zone des HAO est située entre deux zones particulières : l'aviation traditionnelle qui fait l'objet d'une très forte régulation et l'espace dont la réglementation est assez peu contraignante pour les États. Ces espaces ne sont pas nouveaux, ils sont déjà utilisés par des engins spatiaux qui les traversent ou qui les utilisent dans les basses couches au décollage, voire au retour de leur mission.

À ce stade, l'utilisation des espaces hauts est assez restreinte. Nous devons orienter aujourd'hui nos réflexions pour l'avenir en prenant en compte une utilisation qui sera beaucoup plus fréquente, massive et permanente. Ce fait conduira à des interférences beaucoup plus marquées avec l'aviation civile étatique avec des enjeux commerciaux, de défense mais aussi de sécurité. *De facto* on va devoir faire face à une coordination indispensable avec l'utilisation actuelle des espaces aériens, notamment inférieurs.

Il faut penser aux vecteurs qui utiliseront les HAO. Certaines notions doivent être prises en compte : endurance, persistance, autonomie, vitesse. Le contrôle d'un engin hypersonique transcontinental doit faire l'objet d'une attention particulière différente de celle de l'aviation classique. Il y aura également des notions de furtivité, de capacité d'emport ainsi que des questions sous-jacentes de sécurité si on emporte des charges lourdes ou des matières dangereuses. Une coordination sera nécessaire pour rendre compatible les différents régimes existants.

Derrière le terme régulation se cachent beaucoup de choses. On la réduit souvent au contrôle et à la surveillance. C'est beaucoup plus large que cela. Attardons-nous sur trois points.

Il s'agit tout d'abord de s'assurer d'un fonctionnement correct de processus et de gestion des espaces, au découpage, au partage, à la réservation, la planification, la programmation, la surveillance et le contrôle.

Dans la réglementation, il existe un volet normatif dont il va falloir tenir compte qui est celui de la sécurité. Sécurité pour garantir la fiabilité des engins qui évolueront dans ces zones, celle des pilotes, des passagers mais également des populations survolées. Le caractère transfrontalier exacerbera ces notions de sécurité.

Il va falloir réfléchir aussi à l'équipement des aéronefs qui, pour évoluer dans un environnement ou un espace particulier, devra répondre à certaines normes.

Trois modèles de régulation peuvent être envisagés. Trois approches sont possibles.

Le premier modèle serait une duplication ou une extension du système actuel de gestion du trafic aérien avec une question corollaire importante : jusqu'où ne pas aller trop loin pour ne pas freiner à la fois les projets technologiques ou contraindre les projets de défense ?

Le deuxième modèle serait d'envisager une régulation beaucoup plus souple, celle qui est actuellement appliquée à l'espace.

Le troisième serait un peu plus disruptif. On doit inventer un nouveau système de gestion ad hoc particulier avec, pourquoi pas, des organismes privés, une organisation régionale ou internationale et une gestion dynamique de l'espace.



Beaucoup de choses sont en cours sur la régulation, notamment la résolution de l'OACI, le projet ECHO coordonné par EUROCONTROL et la *task force* EASA.

Il existe beaucoup de points d'attention pour la défense et pour l'aviation étatique. Le premier à prendre en compte est celui de la souveraineté des États sur l'espace aérien national. Quel que soit le modèle choisi, il ne faudra pas que celui-ci remette en cause la compétence qui doit rester exclusive des États dans la conception et la gestion de leur espace national. Au vu des enjeux de vitesse et d'allonge une coordination sera nécessaire au niveau européen, voire international.

Le deuxième est celui de la liberté d'accès et d'action pour les forces aériennes qui doit rester une prérogative régaliennne pour ne pas contraindre nos opérations aériennes qu'elles soient défensives ou offensives.

Le dernier est celui d'un cadre de sécurité maîtrisé. Avec l'arrivée de nouveaux acteurs, notamment civils, il ne faudrait pas qu'il y ait un décalage entre les deux mondes de la réglementation civile que les armées ne pourront pas suivre. Et donc ce qu'on appelle des clauses de sauvegarde que l'on défend déjà aujourd'hui au niveau de la DSAÉ dans les instances européennes afin qu'il n'y ait pas un décrochage et, finalement, un blocage de notre liberté d'action.

Quelles perspectives entrevoyez-vous sur la manière de mieux gérer ces nouveaux entrants afin de préserver la liberté d'action des forces ?

Général de division aérienne Stéphane VIREM

Le paradigme a quelque peu changé. Auparavant les projets de défense ou des armées étaient un peu leaders et pouvaient entraîner des conséquences commerciales. Aujourd'hui, on a inversé un peu la vapeur. On a pris un peu sur le tard ces sujets. Il faut adopter une démarche progressive selon une approche technico-opérationnelle incrémentale reposant sur le modèle existant.

Prenons l'exemple des drones. La DSAÉ s'occupe de leur intégration dans les espaces aériens. Leur technologie est aujourd'hui foisonnante. Vouloir imaginer une régulation globale qui prendrait en compte l'ensemble des prérogatives ou des missions de ces engins est impossible. Il vaut mieux raisonner par type de machine et par type de mission et de risque et s'orienter, dans un premier temps, vers une régulation qui soit adaptée à ces systèmes pour pouvoir permettre un développement futur.

Il va falloir également prendre en compte la gestion des flux de trafic dans les années à venir. Il faut un peu pousser les modèles que l'on développe aujourd'hui de gestion dynamique de l'espace, ce qu'on appelle la 4D. C'est utiliser un espace réservé mais qui bouge avec le mobile et qui permet de ne pas réserver de grandes zones sur un temps très long, ce qui n'est pas compatible d'une exploitation commerciale des aéronefs.

Quels éclairages pouvez-vous donner sur le domaine émergent des HAO, les enjeux, les défis pour la France ? Quel est le rôle de la DGAC aux côtés du ministère des Armées et des autres acteurs dans les activités initiées en 2019 par la Commission européenne ?

Patrice DESVALLÉES

La France fait partie des toutes premières nations aérospatiales et a été pionnière des avions à très haute performance. On peut citer les avions à statoréacteurs ou à propulsion fusée comme les avions Leduc dès 1946, Trident ou Mirage III C. Elle a également été pionnière de la stratosphère avec les ballons du CNES depuis 1961 ainsi que dans le domaine supersonique et spatial avec Concorde, nos chasseurs supersoniques et Ariane.

C'est donc logiquement que la France, à travers la DGAC, le ministère des Armées et son industrie, participe aujourd'hui activement aux travaux prospectifs européens. Dans ce contexte, afin de fédérer les acteurs français, nous avons créé fin 2020 avec le MESR et le MINARM un réseau thématique sur les HAO qui rassemble les acteurs publics et privés intéressés par ce domaine émergent. Ce groupe d'échange qui compte aujourd'hui plus de 80 participants, permet de tenir informé l'ensemble de l'écosystème, de partager nos visions et contraintes respectives, et de faire émerger une « Position France » pour peser sur les débats à venir.



Le trafic HAO est aujourd'hui actuellement très faible. Il faut souligner une grande diversité de projets potentiellement capables de monter à environ 18 à 20 km d'altitude et au-delà : les HAPS, les fusées-sondes, quelques concepts supersoniques et hypersoniques, les micro-lanceurs aéroportés, les suborbitaux A-vers-A ou bien A-vers-B ultra-véloces et quasi orbitaux.

Ces dernières années des projets HAO de maturité technologique inégale apparaissent et disparaissent à un rythme assez soutenu. Notons les abandons récents de projets supersoniques comme Aerion en mai 2021 ou les déboires des deux systèmes suborbitaux actuels non certifiés. Le SpaceShipTwo, dans sa version modifiée suite au crash mortel d'octobre 2014, a été une nouvelle fois cloué au sol le 2 septembre 2021 par l'autorité américaine, suite à un incident grave en vol. Il en va de même pour le NewShepard également cloué au sol par la FAA le 12 septembre 2022, après l'explosion en vol du booster.

Il existe de multiples enjeux, parfois sensibles pour la France : l'innovation technologique, le renforcement des compétences dans cette nouvelle portion d'espace, dans un contexte d'interdépendance croissante avec le numérique, comme souligné lors de la 12^e Rencontre aviation civile-aviation militaire RACAM en 2018.

Autres enjeux importants : la sécurité, mais également la fluidité et la capacité du trafic aérien conventionnel civil ou militaire, qui ne devront pas être dégradées par les montées et descentes des HAO, malgré leurs vitesses et profils disparates.

Selon de premières simulations un scénario faible à médian de développement des HAO pourrait générer à l'horizon 2030 un supplément de 20 à 30% des retards journaliers moyens actuels, dans la région centrale de l'Europe.

Autre exemple : Entre 2010 et 2020, plusieurs descentes incontrôlées de ballons Loon qui ont généré des situations dangereuses dans divers espaces aériens dans le monde, y compris en France métropolitaine et en Outre-mer.

Le projet Loon a depuis été abandonné, début 2021, donnant un sérieux coup de frein à l'ensemble du domaine émergent des HAO.

Aussi, il importera de prévenir les actes malveillants, les menaces potentielles sur la sécurité nationale. Tout en réaffirmant les compétences juridiques nationales en matière de Spatial, il faudra veiller à ce que les États restent maîtres des futurs processus de gestion du trafic à haute altitude, en pleine connaissance des finalités des machines qui auront été autorisées à pénétrer dans leurs espaces souverains.

L'objectif sera ainsi de permettre le développement des technologies innovantes HAO les plus acceptables, les plus matures et prometteuses, tout en minimisant leur impact sur la sécurité, l'écoulement du trafic, l'environnement, la sûreté et la cybersécurité.

À l'échelle européenne, on se prépare à un éventuel futur encadrement réglementaire sur ces sujets. Quels sont les principaux défis auxquels devrait répondre cet encadrement réglementaire ?

Patrice DESVALLÉES

Le principal défi c'est l'impressionnante disparité de concepts HAO et l'ensemble excessivement hétéroclite d'opérations et de machines, proposé initialement par la Commission Européenne en avril 2019, allant du ballon à des projets de systèmes hybrides avion-fusée quasi orbitaux. Tous ces projets ont des maturités technologiques, des cadres juridiques, des caractéristiques, des domaines de vol extrêmement variés ainsi que des niveaux très inégaux de fiabilité, de prédictibilité ou de manœuvrabilité.

Dans ce contexte il semble extrêmement compliqué de chercher à inclure toutes ces catégories dans un encadrement unique. Aussi, une approche au cas par cas plus concrète et intuitive serait à privilégier.

La réglementation devra aussi être suffisamment anticipée pour donner aux industriels la visibilité nécessaire, sans être trop précoce au risque de passer à côté des besoins réels.

Une certaine flexibilité et modularité pourra permettre des compromis adaptés entre de nécessaires règles prescriptives, et une approche basée sur les performances et les risques.



Pour accompagner au mieux l'innovation, un cadre ne doit être ni trop exigeant ni trop permissif, le premier accident catastrophique risquerait alors de tuer dans l'œuf tel ou tel segment de HAO. À cet égard, la sécurité aérienne demeure le premier critère, non négociable.

Les essais en vol des prototypes pourront continuer à se faire en toute sécurité sous laissez-passer. En revanche, il n'existe pas en Europe continentale de grand désert tel que celui du Mojave en Californie : les fortes densités de populations et de trafic aérien en Europe ne sont pas propices à certaines expérimentations risquées.

Le défi sera également juridique. Certaines catégories de HAO se trouvant à l'interface entre le droit aérien, très international, et le droit spatial, de compétence des États de lancement, alors même que d'importantes divergences existent entre ces deux droits.

En effet, comme souligné lors du colloque CNES-DGAC-Université de Paris tenu en février 2020, les approches aériennes et spatiales sont très différentes en matière de standards de sécurité, de souveraineté et de régime de responsabilité.

Or, parfois, certains prototypes sont difficiles à classer dans l'un ou l'autre de ces paradigmes, aérien ou spatial. S'agissant des catégories aérospatiales que l'on pourrait qualifier d'hybride, pour lesquelles il existe une incertitude en termes de droit applicable (aérien ou spatial), soulignons qu'il revient *in fine* à chaque État intéressé de choisir l'articulation adaptée, si possible équivalente à d'autres cadres nationaux existant dans le monde (pour éviter les effets d'aubaine ou de complaisance réglementaires).

Notons aussi que chacun des 193 États contractants de l'OACI bénéficie d'une souveraineté complète et exclusive sur l'espace aérien au-dessus de son territoire, alors même qu'il existe dans le droit international une absence - souhaitée par de nombreux États - de délimitation explicite entre les espaces aériens souverains et l'espace extra-atmosphérique.

Le périmètre de l'espace aérien dit à haute altitude est incertain, sans consensus à ce stade au niveau européen ou mondial :

En effet, on l'a vu, aucune limite supérieure avec l'espace n'est définie au niveau international. S'agissant de la limite inférieure, elle se situerait quelque part au-delà des espaces contrôlés actuellement, typiquement autour de 20km (niveau du Concorde), voire un peu plus bas.

européenne sur les questions des HAO ? Quelles sont les orientations envisagées ?

Nathalie LE CAM

L'EASA (Agence de l'Union européenne pour la sécurité aérienne) a reçu un mandat de la Commission européenne en 2019 d'explorer les futurs aspects réglementaires des HAO en parallèle d'un mandat qui a été donné à EUROCONTROL et à SESAR JU d'explorer par un projet de recherche les aspects plus opérationnels par un Conops et une analyse de la demande.

Depuis trois ans l'Agence a travaillé avec une *task force* composée d'États-membres dont la France. Les résultats, qui doivent être remis à la Commission européenne en février 2023, représentent le point de vue de l'autorité compétente européenne en matière de réglementation des aspects aviation civile transport aérien. À ce stade, l'agence n'est pas compétente pour réglementer les aspects des opérations spatiales.

L'Union européenne s'intéresse à ce sujet car la portion d'espace aérien comprise entre 20 km et environ 100 km d'altitude revêt un intérêt stratégique. Cet espace ouvre en effet l'accès à l'espace extra-atmosphérique et permet de contrôler cet accès. Ces futures opérations reposent sur des technologies critiques qu'il est important que l'Europe maîtrise. Enfin, au-delà de la souveraineté des États dans leur espace aérien, ces futures opérations seront un élément important de la souveraineté critique et de l'autonomie stratégique de l'Union européenne.

Elle s'y est intéressée également parce ces opérations pourraient présenter des risques de sécurité aérienne, de cyber et des risques environnementaux, qui relèvent actuellement de la compétence de l'Union européenne pour l'aviation civile. Ces risques devront faire l'objet d'une analyse détaillée.



Ce sujet présente également des opportunités. L'espace de très haute altitude est un espace quasi vierge. Il y a très peu de trafic. Cela permet d'envisager de nouvelles façons de gérer le trafic aérien, d'imaginer de nouvelles approches et une approche réglementaire peut-être plus agile et plus mesurée avec le concept notamment de *regulatory sandbox*.

L'agence va prochainement remettre à la Commission sa feuille de route. Je ne peux pas en partager les détails aujourd'hui qui sont en cours de validation mais je peux déjà citer trois grandes conclusions.

1. Premièrement, les principes applicables aujourd'hui dans l'espace aérien inférieur vont demeurer. Les États vont y rester souverains. Ce n'est pas le même régime que dans l'espace extra-atmosphérique. L'Union européenne est compétente pour autant qu'il s'agit d'opérations d'aviation civile effectuée par des aéronefs, dans le cadre et les limites des règlements européens en vigueur.
2. Deuxièmement, il est important de réfléchir ensemble et d'adopter une approche commune compte tenu notamment des caractéristiques techniques des véhicules. On ne peut pas agir seul ni au niveau régional (un État pourra difficilement décider seul de sa propre réglementation, au moins dans l'Union européenne), ni au niveau global. Il sera nécessaire d'assurer une interopérabilité avec les autres régions du monde, par exemple via les travaux de l'OACI.
3. Troisièmement, malgré ce travail exploratoire, c'est un domaine que l'on connaît encore peu. Il reste beaucoup de questions ouvertes. Il serait difficile de commencer à réglementer tout de suite. Nous souhaitons bénéficier des expériences, des démonstrations et des tests qui seront menés dans les États, peut-être en utilisant le concept de *regulatory sandbox*, et d'en retirer les leçons, d'apprendre de ces premiers tests afin de développer une réglementation plus adaptée dans les années qui viennent. À travers de sa feuille de route, EASA propose aussi de mener des études complémentaires pour mieux connaître ce nouveau domaine.

Comment prenez-vous en compte les besoins militaires dans ce contexte ?

Nathalie LE CAM

Dès le départ, et sur base des expériences passées, l'EASA a souhaité impliquer les acteurs militaires. C'est ainsi que l'Agence européenne de défense ainsi que certains représentants militaires des États, dont la France, ont participé aux travaux de la *task force*.

Nous devons continuer le travail de cette manière. Il faut coopérer, consulter, impliquer. C'est une recommandation pour la suite. Il faudra, dans l'espace aérien de très haute altitude, prendre en compte les besoins militaires, comme ce qui est fait dans l'espace aérien inférieur. *A priori*, les objectifs et principes applicables ne devraient pas être différents : priorité des missions militaires, protection de l'information, échange d'informations.

Un mot sur les activités émergentes au niveau du réseau européen dans le domaine de la très haute altitude ?

Éric BILLARD

Nous avons été créés il y a plus de cinquante ans pour gérer essentiellement les flux civils et ne pas faire d'impact sur les militaires. À ce titre nous sommes une organisation intergouvernementale civile-militaire. Nous devons prendre en compte les besoins militaires dans ce que nous faisons. Pour autant nous ne sommes pas le régulateur. La régulation est assurée par la Commission européenne avec son initiative (*Ciel unique européen*) prise il y a plus de vingt ans et l'EASA qui développe les règlements. Nous agissons dans le domaine réglementaire. Nous pouvons faire des standards techniques par exemple pour les échanges de données.

Nous faisons la gestion des flux, nous évitons les délais, nous reroutons le trafic si nécessaire. Nous prenons tous les besoins militaires et civils notamment de zones dangereuses. C'est ce qui nous occupe avec la haute altitude.



Aujourd'hui il y a peu d'activité. Ce soir après 22h⁸ il est prévu un essai de Virgin Orbit de lancement de satellites en orbite basse. Pour cette mission il a fallu planifier de nombreuses dates en décembre et cinq dates possibles de repli en janvier. À chaque fois il faut coordonner entre États avec les services de contrôle. Il faut négocier des routes de contournement. On demande aux avions de s'éloigner de 30 nautiques, voire de 60 nautiques si l'avion lanceur n'est pas capable d'assurer la navigation de précision. C'est très contraignant.

Virgin Orbit est un test, c'est un peu nouveau. Les lancements balistiques français sont connus. La coordination existe depuis toujours quand la France fait des essais. Certains tirs depuis la Guyane ont une trajectoire qui arrive à toucher la zone de travail d'EUROCONTROL.

C'est encore assez rare mais il faut développer des solutions. Au-delà de notre mandat de gestionnaire de réseau, nous avons une capacité de recherche. Dans ce cadre nous essayons d'apporter des solutions de façon civile-militaire.

Quelles sont les solutions techniques ou procédurales déjà mises en place ou envisagées ?

Éric BILLARD

Aujourd'hui on utilise les outils existants de gestion souple de l'espace que l'on connaît mieux sous le sigle FUA⁹. Par exemple le tir de Virgin Orbit se fait sous la coordination du Royaume-Uni, depuis le sud de l'Irlande jusqu'aux Canaries, entre plusieurs pays et plusieurs autorités pour la partie espace aérien. EUROCONTROL est derrière parce qu'il faut penser au trafic civil en général.

Nous avons développé un outil de gestion de l'espace aérien (LARA) qui est maintenant déployé dans une trentaine de pays. Il sert pour l'espace aérien inférieur et pourrait avoir une continuité.

Il est important d'avoir des outils qui aillent du stratégique au tactique parce qu'il faut garder de la flexibilité. Il faut penser de façon stratégique parfois jusqu'à un an à l'avance, ou plus, et aller pratiquement jusqu'au contrôle aérien, jusqu'à la réaction en cas d'incident.

Le projet ECHO doit définir un concept européen d'opérations pour l'espace aérien supérieur. On n'y est pas tout à fait. Il y a eu un *workshop* récemment mais il y aura ECHO 2 *a priori* dans les années à venir. Ce qui veut dire qu'on est au début de cette définition.

En Europe on travaille dans des cadres différents avec des outils différents. On est toujours confronté à ce problème d'interopérabilité des systèmes. Nous travaillerons dans cette direction pour faire en sorte que tout le monde puisse communiquer à temps les bonnes informations.

L'espace dynamique est un concept que l'on développe depuis une quinzaine d'années à travers la recherche financée par l'Union et en partie par EUROCONTROL. Nous travaillons dans le sens des espaces dynamiques le plus possible. On parle de bulle mobile adaptée aux caractéristiques des avions ou des systèmes. Ce concept intéresse de plus en plus de monde, notamment Airbus pour ses vols en formation. On en parle également pour les opérations en haute altitude parce qu'il faut limiter le plus possible les blocs d'espace réservés qui pénalisent beaucoup. Mais pour que cela fonctionne il faut de l'interconnectivité.

Nous sommes face à des infrastructures critiques avec toute la problématique de l'échange de données que cela engendre. Travaillant dessus depuis longtemps, je m'inquiète un peu. L'aviation c'est la sécurité des vols, la résilience. Garder toutes ces caractéristiques dans le monde que l'on développe avec des systèmes que l'on développe sera un vrai défi.

8. Ndlr : 9 janvier 2023.

9. *Flexible Use of Airspace*.



Les orientations de politique spatiale du gouvernement fixent les priorités stratégiques. La première de ces priorités est de renforcer notre autonomie stratégique notamment avec un accès autonome et compétitif à l'espace. Pour cela il faut assurer la sécurité et la durabilité des opérations spatiales. Un mot sur les mesures et les moyens mis en œuvre par le CNES pour contribuer à cette sécurité ?

Bernard CHEMAUL

Le CNES est surtout intéressé par ce qui se passe au-dessus de 100 km avec des satellites en orbite qui restent dans l'espace. On est un peu aux frontières des préoccupations évoquées avec les HAO. Le CNES est l'agence spatiale de la France qui met en œuvre les orientations politiques spatiales avec quatre enjeux : le renforcement de l'autonomie stratégique, le rayonnement scientifique spatial français, le soutien à la compétitivité de l'écosystème spatial et, avec les systèmes spatiaux, l'engagement pour un monde durable avec les observations spatiales et la donnée spatiale.

Le renforcement de l'autonomie stratégique c'est l'accès indépendant à l'espace. C'est une affaire de transport spatial mais aussi de sécurité : comment assurer la viabilité et la durabilité des opérations spatiales, que ce soient les opérations de lancement ou les opérations en orbite. Pour cela le CNES dispose d'un certain nombre de compétences. C'est aussi un centre d'excellence technique. Nous intervenons dans toutes les étapes de la chaîne de la valeur de la conception des systèmes spatiaux. On a beaucoup parlé des ballons. Nous avons maintenu une compétence de l'activité ballon durant les soixante années d'existence du CNES.

Nous exploitons des données spatiales, nous effectuons des opérations à la fois de contrôle de satellites en orbite mais aussi des opérations de lancement puisque nous gérons la base spatiale en Guyane. Nous assurons pour le compte du ministre chargé de l'espace, qui est aujourd'hui le ministère des Finances et de l'Économie, le contrôle de l'application de la loi spatiale.

En France il existe une loi spatiale¹⁰ qui a plus de dix ans. Elle met en place un régime d'autorisation pour les opérations spatiales. Dans l'aviation, lorsqu'il y a des dommages causés par un aéronef, la compagnie aérienne en est responsable. Avec le traité international de 1967 ce sont les États des lancements qui sont directement responsables. Ensuite ils peuvent se retourner vers les opérateurs. Il y a une responsabilité propre de la France et c'est pour cela que le législateur a jugé utile de mettre en place cette loi spatiale.

Le régime d'autorisation consiste à appliquer une réglementation technique qui donne des normes. C'est ce qui permet d'assurer la sécurité.

Comme l'essentiel des activités de lancements spatiaux se fait à partir du Centre spatial guyanais, le CNES est chargé de la sécurité et de la sauvegarde des opérations de lancement. Ce qui est, dans le terme de la loi, une prérogative de police spéciale donnée au président du CNES qui peut neutraliser un lanceur s'il devient dangereux.

Notre cadre législatif est fort et important.¹¹

Pour assurer la sécurité spatiale il faut des moyens capacitaires. Nous mettons en œuvre un système d'observation. Le service CAESAR du CNES utilise des moyens d'observation militaires, des radars GRAVES¹² et SATAM¹³, des moyens de télescope du CNRS. À partir de ces moyens nous avons développé une compétence qui est de pouvoir surveiller l'activité spatiale, en particulier les débris en orbite. Une cartographie est élaborée dans ce cadre.

Le CNES travaille dans un cadre européen. Il est à l'initiative et préside à la conduite du programme de l'Union européenne EU SST¹⁴, devenu partenariat en janvier 2023 de quinze pays qui mettent en commun leurs moyens d'observation. Nous agrégeons ainsi toutes les données pour pouvoir fournir une situation orbitale permettant de faire de l'anticollision.

10. Loi sur les opérations spatiales qui permet de réguler l'activité spatiale à partir du territoire national pour tout opérateur français agissant n'importe où dans le monde.

11. *Conjunction Analysis and Evaluation Service, Alerts and Recommendations.*

12. Grand Réseau Adapté à la Veille Spatiale.

13. Système d'Acquisition et de Trajectographie des Avions et des Munitions.

14. *European Space Surveillance and Tracking.*



Nous intervenons dans un cadre international. Il est très difficile d'avoir une loi internationale parce que les États sont très jaloux de leur souveraineté. En revanche nous avons une action de soutien à l'activité diplomatique de la France dans le cadre du COPUOS¹⁵. Nous promovons l'utilisation et l'application des 21 règles émises par cet organisme de l'ONU.

Nous intervenons également dans un cadre normatif avec les ECSS¹⁶ qui sont des normes de l'Agence spatiale européenne, de l'Union européenne, le CEN-CENELEC. Et enfin, dans un cadre de normes internationales ISO puisqu'il existe aujourd'hui un groupe de travail non pas du *Space Traffic Management* mais du *Space Traffic Coordination*, le management impliquant une notion un peu coercitive que les États veulent éviter. On parle plutôt de coordination du trafic, c'est-à-dire d'échange d'informations.

On voit le dynamisme du secteur spatial. La loi date d'il y a dix ans. Quelles sont les évolutions sur lesquelles vous travaillez par rapport à cette dynamique du moment ?

Bernard CHEMOUL

On entrevoit les évolutions dans une dynamique où l'on essaie de soutenir le développement de l'écosystème et non pas d'être dans des règles coercitives ou restrictives. Avant de répondre aux évolutions il faut savoir quels sont les enjeux. On a un accroissement du trafic important. En 2022 il y a eu 182 lancements partout dans le monde, 85 aux États-Unis dont 61 de SpaceX. Cet accroissement pose question sur la relation entre ces lancements et le trafic aérien, que ce soit en-dessous du niveau 660 ou au-dessus.

On a aussi un accroissement important du trafic spatial. Le nombre de satellites en orbite commence à exploser. Aujourd'hui on en est à 3.000 satellites de la constellation Starlink et on parle d'autres constellations : les Chinois et les Russes vont eux aussi en proposer avec un nombre important de satellites, la future constellation IRIS2 de l'Union européenne va se développer. Le trafic est intense, 1.000 à 1.500 satellites de plus par année. La loi doit entrevoir comment on pourra s'insérer dans ce trafic et on mettra en œuvre des premières règles de *Space Traffic Management (STM)*.



15. *Committee of the Peaceful Uses of Outer Space.*

16. *European Cooperation for Space Standardization.*

En particulier au Centre spatial de Guyane ?

Bernard CHEMOUL

Notre préoccupation en Guyane est surtout liée au trafic des lancements. On a aussi à gérer des retours d'objets venant de l'espace. On aura également des projets de lanceurs réutilisables donc le retour d'objets en fin de lancement. Mais ce qui nous préoccupe le plus aujourd'hui c'est l'interaction avec le trafic aérien. Nous allons mettre en place avec l'Institut allemand de recherche aéronautique et spatiale (DLR) une plateforme qui agrègera les données de trafic aérien et les données de trafic spatial pour informer l'ensemble des acteurs qui auront à gérer en cas d'incident la retombée de débris ou de lanceurs.

Existe-t-il des rivalités entre États pour imposer leurs normes dans la haute atmosphère ?

Général de division aérienne Stéphane VIREM

À ma connaissance il n'y a pas de compétition ou d'acteurs qui souhaiteraient se positionner en pole position. Certains pays ont pris le sujet HAO, notamment la réglementation, en avance de phase par rapport à d'autres. L'Italie est assez active au sujet de la régulation mais aussi des spatioports. Je ne note pas une compétition puisqu'on avance tous main dans la main en défrichant un nouveau domaine.

Patrice DESVALLÉES

Tout dépendra de l'organisation qui sera mise en place pour la gestion du trafic. Il pourrait y avoir une option pour que cette gestion soit faite à travers des organismes privés, bien sûr sous contrôle des États souverains. Plusieurs pays et compagnies travaillent dessus.

Quel est l'impact des activités dans la haute atmosphère sur l'environnement ?

Nathalie LE CAM

On ne le connaît pas encore exactement. Peut-être le bruit des vols supersoniques ou hypersoniques, un impact climatique des émissions pour certains véhicules ou objets ou un impact sur la couche d'ozone. Pour tout cela il va falloir faire des études complémentaires.

Bernard CHEMOUL

Dans l'analyse de cycle de vie des lanceurs nous regardons quel est l'impact de la traversée d'un lanceur dans la haute atmosphère. Des études physicochimiques ont été menées. Certains impacts peuvent être agressifs en matière de couche d'ozone et de trace carbone. L'activité spatiale étant tellement faible ça reste quand même assez imperceptible.

Patrice DESVALLÉES

Au-delà des enjeux environnementaux, les HAO vont être à terme confrontées à des enjeux sociétaux et aux politiques publiques. L'acceptabilité sociale de certaines applications HAO devra être regardée. D'autres seront probablement difficilement acceptables dans un contexte de défi global pour le climat et la sobriété énergétique.

Quelle instance peut prendre des sanctions si un acteur ne respecte pas les règles dans la haute atmosphère ?

Éric BILLARD

Le retour de la fusée chinoise a créé un émoi à EUROCONTROL. L'Espagne était très mécontente, elle a dû bloquer ses aéroports pendant plusieurs heures. L'espace aérien français aussi au sud de la Corse. On s'est retrouvé complètement démunis.

Bernard CHEMOUL

Le retour d'objets spatiaux qui retombent sur Terre est un vrai sujet. Aujourd'hui on constate environ deux rentrées significatives par mois. Le plus marquant a été ce premier étage d'une fusée Longue Marche 5, de l'ordre de 18 tonnes, qui a survolé l'Espagne et la Corse mais qui était à très haute altitude et est retombé dans le Pacifique.



Pourrait-on s'inspirer de la gestion des drones pour réguler les HAO ?

Patrice DESVALLÉES

La France a été le premier pays à réglementer les drones. Avec la nouvelle réglementation européenne, la réglementation de base de 2018, l'Agence a la compétence sur l'intégralité des drones, des plus petits aux très gros certifiés.

Pour revenir à la question précédente, dès lors qu'une machine haute altitude est un aéronef, il doit respecter les règles de l'organisation de l'aviation civile internationale et de l'AESA, y compris les règles de l'air. Il y aura tout un volet réglementaire à développer pour chaque catégorie crédible et prometteuse de HAO.

Nathalie LE CAM

La façon de gérer et de réglementer les drones a été assez innovante. Elle peut offrir de nouvelles approches innovantes pour la gestion du trafic aérien en haute altitude.

Général de division aérienne Stéphane VIREM

On est en train de s'inspirer du modèle développé sur la caractéristique des machines et puis surtout sur le risque et missions associées. C'est une manière de classer les drones et de pouvoir appliquer une réglementation ad hoc. Il existe néanmoins une différence fondamentale entre les drones et les engins qui vont voler dans les HAO, c'est la notion de temps et de programme. On n'est pas du tout sur la même échelle de temps. On peut s'inspirer du modèle mais il va falloir l'adapter.

Comment différencier la régulation entre les activités scientifiques, commerciales et militaires ?

Nathalie LE CAM

Le règlement de base créé par AESA, qui pose les principes de sécurité de l'aviation civile en Europe, exclut de son champ d'application les vols expérimentaux scientifiques qui présentent de faibles risques. Pour cette raison on propose que les premiers vols qui seront effectués le soient sous ce régime, sous la responsabilité des États-membres et non sous la réglementation européenne avec la *regulatory sandbox*. C'est donc l'organisation d'un test d'un démonstrateur sous la responsabilité d'un État en exemptant de l'applicabilité des réglementations habituelles tout en assurant des conditions de sécurité afin de pouvoir apprendre de ces premières opérations.

Patrice DESVALLÉES

La *regulatory sandbox* reste un concept à ce stade qui n'est pas encore très clair pour la DGAC. Ce sont en quelque sorte des essais en vol sous laissez-passer qui pourraient inclure plusieurs États intéressés.

Qu'aimeriez-vous que l'on retienne de cette dynamique ?

Bernard CHEMOUL

La régulation spatiale doit être évolutive, elle doit s'adapter aux cas d'usage qu'on doit se poser et on doit traiter ces cas d'usage de façon pragmatique. C'est important dans l'approche de l'évolution de la réglementation. On va d'ailleurs lancer une nouvelle version de la réglementation technique dans les jours qui viennent. Les opérateurs sont consultés pour s'assurer qu'elle soit bien pragmatique.

Éric BILLARD

Je rajoute la coopération entre les outils. Qu'on ait tous les mêmes outils ou des outils capables de supporter des procédures standardisées.

Nathalie LE CAM

Il faut s'intéresser à ce sujet de manière progressive. Il faut en apprendre plus et il faut surtout faire le lien aux niveaux régional et international ainsi que le lien avec le spatial, le *STM (Space Traffic Management)*.



Patrice DESVALLÉES

Certains experts estiment que le domaine pionnier des HAO et du *New Space* (dont les suborbitaux), se trouve en matière de réglementation et de sécurité dans la même situation que l'était l'aviation il y a 60 ou 70 ans. Cela nous laisse un long et passionnant chemin devant nous pour accompagner le développement de ces activités émergentes.

Général de division aérienne Stéphane VIREM

Il faut bien garder en tête la dimension de coopération et d'interopérabilité civilo-militaire avec trois écueils : une sur-privatisation du presque espace avec un *driver* purement économique où la défense n'aurait plus son mot, une centralisation de gestion autour d'un acteur unique et une surréglementation qui ne serait pas soutenable pour la défense dans le cadre du développement de ces opérations.



Entretien avec le colonel **Olivier FLEURY**, commandant la base aérienne 367 de Guyane.

Les capacités de lancement sont indispensables à une réelle autonomie stratégique dans l'espace. Le Centre spatial guyanais est essentiel au spatial européen. Comment est assurée actuellement la protection des lanceurs transitant entre ciel et espace ?

La base aérienne 367 de Cayenne contribue à de multiples missions. Ici les aéronefs sont la clé de la mobilité, souveraineté et secours aux populations sont notre quotidien. Cette nuit encore, sur réquisition de la Préfecture, nous étions à Fort-de-France pour évacuer des patients.

Le Centre spatial guyanais (CSG) est une base de lancement éminemment stratégique puisqu'elle constitue le point d'accès unique à l'espace pour l'Europe. Il nous revient de la protéger depuis les airs, en particulier en faisant respecter l'interdiction de survol au-dessus d'une large zone englobant le centre. Cette zone de survol équivaut en superficie à la Martinique. Nous devons la surveiller de façon permanente. Nous établissons une sorte de bulle de protection au-dessus du Centre spatial.

Nous cherchons à le protéger avant tout contre des menaces contestataires ou éventuellement des manœuvres de renseignement. Mais nous sommes prêts à adapter notre posture à toute évolution de la situation. Nous mettons en œuvre un dispositif similaire à celui qui protège l'espace aérien métropolitain.

Le renseignement nous permet d'anticiper et d'orienter notre manœuvre. Nous avons une couverture radar permanente, une chaîne de commandement robuste et efficace ainsi que des moyens d'intervention.

Au cœur même du centre spatial, nous mettons en œuvre deux radars qui sont opérés depuis la base aérienne et qui nous permettent de surveiller l'espace aérien à plusieurs centaines de nautiques. Ce système est complété par des systèmes au sol de surveillance des drones.

Les aviateurs de la base tiennent en permanence une alerte avec des hélicoptères Fennec qui leur permettent d'effectuer des interceptions de jour comme de nuit. À bord ils utilisent une caméra thermique, des jumelles de vision nocturne. Nous avons des tireurs embarqués capables de dérouler des mesures pour prendre contact, contraindre et, si nécessaire, neutraliser un aéronef qui dérogerait à la zone interdite de survol.

Ces actions sont conduites par la haute autorité de défense aérienne, responsabilité que j'exerce, en délégation du général commandant le CDAOA. La chaîne de commandement se doit d'être efficace et rapide. L'action peut se dérouler en quelques minutes. Le cas échéant je serais amené à contacter le Premier ministre pour dérouler les dernières mesures.

Concernant les activités les plus sensibles du Centre spatial, les lancements stratégiques par exemple, nous adaptons la posture et faisons venir des renforts depuis la métropole, renforts que l'armée de l'Air est rompue à déployer très rapidement. Il y a avant tout des chasseurs qui vont être des effecteurs, par exemple des Rafale, mais également un Awacs ou des moyens de lutte anti-drone. Dans un tel scénario on parle précisément d'un dispositif particulier de sûreté aérienne.

Il faut rendre justice aux moyens sol-air que le commandant supérieur des forces armées en Guyane me confie. Ce sont des missiles de défense sol-air qu'opèrent les légionnaires et que le général place sous mon commandement le temps de l'opération.

Au volet aérien il faut ajouter un volet maritime et un volet terrestre. À eux trois ils forment l'opération Titan qui protège complètement le Centre spatial guyanais.



Avez-vous déjà rencontré des menaces ? En envisagez-vous ?

Fort heureusement les menaces rencontrées jusqu'à aujourd'hui ont été très limitées. Nous avons dû essentiellement secourir des appareils qui étaient en détresse ou intercepter des drones un peu trop curieux lors des lancements.

La base aérienne se situe aux avant-postes de la défense spatiale. C'est en Guyane que l'on commence à protéger les satellites avant de les protéger en orbite.

On est encore loin des HAO parce que nous travaillons dans les basses couches mais la protection des lanceurs qui transitent jusque dans l'espace va nécessiter également toute notre vigilance lors de leur transit dans les couches supérieures jusqu'à l'espace. C'est là que l'armée de l'Air devra apporter toute son expertise.



« Mon projet en 180 secondes » par Louis HART-DAVIS, fondateur de la société STRATOLIA.

Chez STRATOLIA nous avons deux convictions. La première est que l'observation de la Terre est un secteur qui prendra une importance cruciale dans les années à venir, que ce soit pour mieux comprendre l'évolution long-terme de notre climat ou pour mieux réagir en cas de crise, qu'elle soit de nature géopolitique, logistique ou environnementale. Des données fréquentes et précises sont un atout majeur sans lesquelles la prise de décision pertinente et éclairée est tout bonnement impossible.

Nous pensons également que les outils d'intelligence artificielle se démocratisant, la valeur de ces données ne peut que croître y compris pour des secteurs d'activité qui aujourd'hui ne le soupçonnent pas encore.

La seconde est qu'aujourd'hui l'observation de la Terre est essentiellement réalisée de trois manières qui ont chacune leurs défauts. Les satellites orbitent au moins à 400 km d'altitude, ce qui limite la qualité des images qu'ils sont capables de prendre. De plus, contraints par leur orbite, il leur est difficile de prendre beaucoup d'images par jour au-dessus d'un site spécifique. L'utilisation d'aéronefs est onéreuse et peu discrète. Les drones ont, quant à eux, de fortes limitations d'autonomie qui restreignent leur utilisation à des observations locales et de courte durée.

C'est pour cela que nous allons déployer une flotte de satellites stratosphériques portés par des ballons manœuvrant capables de naviguer à une vingtaine de km d'altitude et de rester au-dessus d'une zone d'intérêt pour des durées allant de six mois à un an. Ils pourront ainsi fournir de la vidéo en direct de haute résolution au-dessus de tout point du globe qui le justifie.

Pour la défense ce service dual permettra d'avoir du renseignement pendant plusieurs mois et de suivre l'évolution d'un théâtre d'opération à la seconde près. Il servira également à surveiller les frontières, les côtes, les infrastructures offshore comme les plateformes et les parcs éoliens ainsi que le trafic maritime pour lutter contre les actes de piraterie. STRATOLIA aidera également à assurer la sécurité de grands événements comme des Jeux olympiques ou de grands festivals.

Dans le domaine civil, les observations en direct aideront la logistique de gestion et de réponse à une crise tel qu'un feu de forêt incontrôlé, un tremblement de terre ou des inondations faisant suite à des précipitations exceptionnelles. Elles permettront également aux assurances de mieux modéliser l'exposition aux risques et de mieux évaluer l'ampleur des dégâts.

De plus, en embarquant des capteurs hyperspectraux nous serons à même de cibler de très fines bandes spectrales dans l'infrarouge et ainsi détecter la présence de molécules comme le méthane, le dioxyde d'azote et d'autres molécules d'intérêt.



TABLE RONDE N°3 : Quelle stratégie de défense dans cette tranche d'altitude ?

Eu égard aux délais très brefs de réaction liée à certaines menaces, il faut une très bonne coordination. Est-ce envisagé entre votre commandement et celui de l'espace ? Comment travaillez-vous ensemble pour demain pouvoir réagir très vite ?

Général de corps aérien Philippe MORALÈS

On travaille entre les deux centres de commandement pour coordonner au mieux notre action. On s'entraîne dans des exercices avec des scénarios. On se pose des questions, on invente des problèmes et on essaie d'y répondre de la manière la plus ingénieuse possible parce que, dans un premier temps, il n'y a pas beaucoup d'argent pour cela donc il faut qu'on soit ingénieux. Ceci entre l'espace et les basses couches. Entre les deux on peut penser à trois axes en matière de stratégie de défense.

Le premier est de garantir l'utilisation pacifique et responsable de cet espace supérieur avec un rôle éminemment interministériel et international.

Le deuxième est de prendre en considération, selon un raisonnement classique, tout ce qui est forces, faiblesses, opportunités et risques qui sont liés à la démocratisation de l'accès à cet espace supérieur.

Le troisième est de ne rien s'interdire et donc d'anticiper une forme certaine d'arsenalisation de cet espace en raison de la compétition stratégique accrue entre les acteurs.

Tout cela est très conceptuel mais très réel aussi.

Selon un découpage plus analytique autour des trois fonctions stratégiques connaissance-anticipation, protection et intervention, on peut esquisser quelques idées.

Fonction connaissance-anticipation. Il faut développer les connaissances de la nature des objets, leurs caractéristiques, leur autonomie performance. Ensuite il faut développer la connaissance du segment sol (d'où ça part, de quelle manière, est-ce que c'est militaire, civil, dual). Puis il faut identifier les acteurs capables d'opérer. Visiblement il y en a de plus en plus puisqu'on voit que cela se popularise et comme c'est sûrement un accès à l'espace à bas coûts, il y aura beaucoup de monde. Enfin, un peu comme pour la menace aérienne il faut identifier, caractériser et attribuer une action suspecte, inamicale, illégale, dangereuse ou hostile, dans, depuis, vers ou à travers cet espace supérieur.

Fonction protection. On a envie de garantir notre libre accès ou celui de nos alliés à cet espace. Il faut coopérer avec les instances civilo-militaires. Etant donné qu'il y a beaucoup de volumes, il n'est pas très compliqué de se coordonner. Si on veut agir et faire peur il faut disposer de moyens d'interdiction proportionnels aux actes suspects comme des contre-mesures ou des actions de rétorsion.

Fonction intervention. Il faut pouvoir utiliser cet espace. Il serait idiot de ne pas l'utiliser pour nos opérations. C'est notamment la défense contre tout ce que pourrait utiliser un potentiel ennemi. Pouvoir intervenir depuis cet espace en mettant à profit les capacités d'ubiquité, d'instantanéité et de dominance conférés par ces objets et puis mettre à profit cet espace pour la projection de puissance. On pense aux missiles hypervéloces en particulier.

Beaucoup de choses sont à faire. Comme c'est coincé entre l'espace et les basses couches, le commandement de l'espace est là avec pas mal d'expérience et de recul pour nous éclairer sur cette couche.

L'exploitation d'opérations dans cette zone à très haute altitude peut-elle faire peser beaucoup de menaces sur nos intérêts ?

Général de corps aérien Philippe MORALÈS

Oui. Il serait dommage qu'on ne puisse rien faire si, par exemple, des ballons d'une puissance concurrente sont au-dessus du pays et observent. On imagine déjà tout le potentiel. Il faut donc que l'on fasse quelque chose, on ne peut pas laisser les choses en l'état.



Y a-t-il des détecteurs pour savoir ce qui se passe dans cette zone ?

Général de division aérienne Philippe ADAM

L'AAE a des moyens de surveiller beaucoup de choses mais aujourd'hui on s'est concentré sur la surveillance de l'espace aérien dans les basses couches, c'est-à-dire l'espace qui est exploité et réglementé. Le CDE a des moyens pour regarder ce qui se passe dans l'espace mais on n'a jamais rien demandé pour spécifiquement chercher ce qui se passe dans la tranche des hautes altitudes. Il faudrait s'assurer qu'on a les moyens de le faire.

Comment voyez-vous cette zone, le rôle du spatial et notamment le rôle de votre commandement dans le Higher Airspace ?

Général de division aérienne Philippe ADAM

Je regarde ce qui se passe au-delà de la mésosphère. Les satellites les plus bas circulent plutôt à 400 km qu'en-dessous de 100. C'est assez loin de mon domaine mais tout cela nous ramène sur des champs un peu plus conceptuels.

En tant qu'aviateur je vois le continuum entre les milieux aérien et spatial ne serait-ce qu'au travers de mon expérience au CDAOA.

Un objet spatial se définit par la possibilité de faire au moins une orbite. J'ai l'habitude de dire depuis ma nomination l'été dernier que la limite de ma zone de responsabilité c'est « l'infini et au-delà », donc c'est relativement loin. Mais plus sérieusement, il devient tout à fait pertinent de définir une frontière entre espace et hautes altitudes parce qu'il va falloir mettre une limite entre les deux un jour ou l'autre pour finir d'organiser la sûreté au voisinage de la planète, notamment parce qu'on reparle de vol interplanétaire. Il va falloir regarder les choses différemment dans la partie supérieure de l'espace aérien pour ces raisons.

En matière juridique, la loi sur les opérations spatiales concerne plutôt ce qui se passe sur les lancements en légiférant le rôle des opérateurs nationaux mais aussi dans l'espace en prenant en compte la fin de vie des satellites. En matière d'opérations spatiales beaucoup de choses se passent sur la surface terrestre. Par exemple, la surveillance spatiale est notamment réalisée par des capteurs placés sur Terre. Une architecture spatiale comprend trois éléments principaux : un segment sol, un segment spatial et des liaisons entre les deux. Il y a beaucoup de problèmes de communication au niveau de ces trois éléments. Les opérations spatiales sont donc extrêmement dépendantes de ce qui se passe sur la surface terrestre avec les réseaux numériques qui permettent de transmettre l'information d'origine spatiale vers l'utilisateur. Dans mon domaine, même s'il y a une tranche dans laquelle je ne suis pas spécifiquement responsable de ce qui se passe, mon champ d'intérêt s'étend principalement de la surface terrestre à l'orbite géostationnaire.

Le consensus international actuellement en vigueur fixe une limite basse au milieu spatial, de manière un peu arbitraire, à 100 km. Un objet spatial est donc censé réaliser au moins une orbite à une altitude supérieure à 100 km.

Il est tout naturel de m'intéresser et de travailler avec le CDAOA puisque toutes les missions qui vont dans l'espace passent par toutes les tranches de l'atmosphère à l'aller comme au retour. La trajectoire aller est généralement simple et rectiligne, la trajectoire retour peut être beaucoup plus compliquée avec des véhicules qui peuvent planer sur des grandes distances et qui ont des caractéristiques d'un aéronef. C'est en particulier ce que l'on appelle les rentrées à risque et nous regardons cela de près.

Ce qui m'intéresse c'est que la jonction entre les activités des deux milieux se fasse bien. On est dans la gestion des interfaces sur lesquelles il faut se coordonner et bien regarder si ce qu'on fait d'un côté de la ligne de séparation, aussi arbitraire qu'elle soit, n'a pas d'influence sur ce qui se passe de l'autre côté. Le fait que le COMDAOA et moi soyons tous les deux aviateurs aide à la bonne gestion de ces interfaces.

En matière de périmètre lié aux responsabilités opérationnelles, il faut regarder ce qui fait la cohérence des missions. Je pense que la responsabilité opérationnelle dans les hautes altitudes découle de l'entité capable de produire



un effet militaire dans cet espace. Au-delà de la question de qui doit exercer des responsabilités opérationnelles dans les hautes altitudes, il est important d'investir aux bons endroits, de ne pas faire plusieurs fois les mêmes choses, de n'avoir de la redondance que là où c'est absolument nécessaire. On fait la comparaison entre les missions qu'effectuent les vecteurs de très haute altitude et les missions qu'effectuent aujourd'hui les satellites. Il y a une proximité qui demande qu'on s'intéresse aux investissements, où on les fait et l'endroit où l'on affecte nos ressources.

Il existe une autre raison de s'y intéresser de plus en plus près. Aujourd'hui les activités dans les tranches hautes de l'atmosphère sont de plus en plus nombreuses. On peut s'attendre à ce qu'elles explosent. On a vu le nombre de sociétés qui s'intéressent aux ballons, aux drones de très haute altitude et on voit que cette activité arrive. Depuis une dizaine d'années, on voit une augmentation exponentielle du nombre de satellites dans l'espace. On peut s'attendre à une explosion similaire en haute altitude notamment si les moyens qui ont été signalés par les industriels invités aujourd'hui amènent à des coûts d'exploitation modérés. Cela se généralisera et on verra l'accès à l'espace et aux hautes altitudes d'une façon différente.

Il nous faut être attentif à ces développements et notamment à la coordination des travaux liés à la protection du territoire ou des populations. L'ensemble des moyens de protection que l'on peut déployer, que ce soit dans l'espace extra-atmosphérique ou dans les hautes altitudes, doivent être bien coordonnés pour neutraliser les menaces émergentes.

En quoi est-il important de définir la frontière entre l'air et l'espace ? Qu'est-ce qui fait qu'aujourd'hui on se retrouve à devoir se justifier sur une frontière dont vous dites vous-même qu'on ne sait pas vraiment où elle est ?

Général de division aérienne Philippe ADAM

Il existe une justification mécanique : l'espace aérien et l'espace exo-atmosphérique obéissent à des lois différentes. Il y a également un aspect juridique avec un espace aérien national légiféré par le Traité de Chicago de 1946, et ses déclinaisons, et un espace extra-atmosphérique placé sous la juridiction internationale du Traité de l'espace extra-atmosphérique de 1967. Donc il y a forcément une limite à faire entre les deux. Il faut convenir d'une frontière fixant une limite, certes arbitraire, ne serait-ce que pour se partager le travail de façon intelligente et être certain qu'il y a suffisamment de recouvrement, que les interfaces sont bien gérées. D'autres solutions sont possibles. D'autres pays ont fait le choix de confier l'espace et l'air à la même entité.

De quoi avons-nous besoin aujourd'hui pour garantir notre souveraineté dans ce presque espace ?

Général de corps aérien Philippe MORALÈS

Comme pour le contrôle aérien il faut surveiller et savoir ce qui se passe donc il faut des capteurs. Ensuite il faut identifier et classifier puis il faut pouvoir agir. Il existe beaucoup de moyens en l'air mais bientôt il faudra penser à comment on vient intercepter ou neutraliser.

Sur quoi peut reposer cette stratégie de souveraineté dans ce presque espace ? Est-il indispensable aujourd'hui d'initier une réflexion sur la manière dont nous pourrions exploiter la très haute altitude à notre propre profit ?

Général de corps aérien Philippe MORALÈS

Au profit militaire je pense à la surveillance. Sur un théâtre comme l'Ukraine, je vois des voies d'amélioration énormes avec des ballons stratosphériques ou des drones très haute altitude permanents. Il y a vraiment quelque chose de très intéressant à faire. À partir du moment où on le fera, un ennemi potentiel fera la même chose donc il faudra arriver à contrer sa capacité d'observation.

Je pense aussi à la communication. On a besoin de communiquer de plus en plus avec beaucoup de données sur tout le globe. On voit la limite des constellations de satellites. Là aussi il y a quelque chose à faire sans aucun doute.



Un mot sur les technologies de rupture que vous pouvez imaginer dans cet espace ?

Franck LEFÈVRE

Cet espace 20–100 km est celui des vitesses extrêmes, domaine de prédilection de l'hypersonique. On pense en application à des missiles de croisière ou à des planeurs. C'est également celui des très basses vitesses et celui des ballons stratosphériques qui, eux, sont à très faible vitesse.

Les domaines du supersonique et de l'hypersonique nécessitent des systèmes de propulsion qui ne sont pas classiques, qui ne sont pas conventionnels.

Dans le domaine de l'hypersonique l'ONERA travaille sur la technologie des statoréacteurs depuis les années 50. Entre 1950 et 1970 elle a réalisé 400 tirs de fusées-sondes qui évoluaient dans cette altitude pour mettre au point les statoréacteurs. Cette technologie est maintenant utilisée dans notre missile nucléaire aéroporté (ASMPA¹⁷) qui est supersonique.

Dans le domaine de l'hypersonique on passe de la technologie du statoréacteur à celle du super statoréacteur. Dans un statoréacteur l'écoulement des fluides dans la chambre de combustion se fait à une vitesse subsonique¹⁸. Dans un super statoréacteur il se fait à une vitesse supersonique. On voit bien la difficulté. Il faut réaliser une combustion, maintenir une flamme dans une tempête. Cela indique les défis techniques à relever et, dans ce domaine, l'ONERA a développé un code CEDRE¹⁹ qui simule ces écoulements réactifs dans la chambre de combustion. C'est une technologie sur laquelle elle travaille dans le cadre de l'ASN4G²⁰, notre futur missile nucléaire aéroporté en collaboration avec MBDA²¹.

L'hypersonique est aussi le domaine des hautes températures. Lorsqu'un mobile se déplace à très haute vitesse, on a une onde de choc et, à l'arrière, on peut atteindre des températures de l'ordre du millier de degrés. On voit la nécessité d'avoir une protection thermique, de protéger le véhicule contre ces montées en température. L'ONERA travaille sur ces matériaux. Elle met en place à la fois des méthodes numériques, on parle de matériaux numériques, mais aussi expérimentales. On élabore dans nos laboratoires les matériaux et la combinaison du numérique et de l'expérimental permet de réduire assez drastiquement les délais de mise au point de ces matériaux.

L'hypersonique manœuvrant fait également appel à un certain nombre de défis techniques à relever dans les domaines de la navigation, du guidage, de la précision et de l'aérodynamique. Sur ce dernier domaine l'ONERA effectue des simulations complètes d'un véhicule hypersonique. Nous avons une feuille de route sur l'hypersonique. On fait des simulations à la fois numériques et également analogiques. Nos souffleries nous permettent de réaliser des essais à des vitesses hypersoniques allant jusqu'à Mach 12.

Quelle est votre analyse du contexte stratégique actuel et son impact potentiel sur la très haute altitude ?

Bertrand LE MEUR

La question n'est sans doute pas de savoir si un jour cette zone entre 20 et 100 km fera l'objet d'une compétition stratégique mais plutôt de savoir quand. Prenons tout ce qu'on vient d'entendre et mettons-le dans les mains de la Chine. Qu'est-ce que cela donne en matière de capacité d'action militaire vers d'autres pays ? La réponse est assez évidente.

On est face à un domaine en plein développement, en pleine accélération, qui présente des caractéristiques d'ambiguïté. On ne sait pas toujours d'où c'est parti, à qui cela appartient, ce que cela va faire, combien de temps cela va rester, si c'est hostile ou non, si c'est dormant ou actif. On est au cœur des enjeux de possibles compétitions stratégiques à un horizon que l'on placera au-delà de 2030 mais c'est quelque chose auquel il faut se préparer.

La Revue nationale stratégique ne parle pas spécifiquement de ces objets qui sont sans doute encore trop prospectifs. Ils ne sont pas encore là, difficiles à caractériser. Il est toujours un peu difficile dans un tel document de

17. Air-sol moyenne portée amélioré.

18. En-dessous de la vitesse du son.

19. Calcul d'écoulements diphasiques réactifs pour l'énergétique.

20. Air-sol nucléaire de 4^e génération.

21. Société industrielle du secteur aéronautique et spatial et de l'industrie de l'armement.



dire que des choses vont arriver, qu'elles doivent nous faire peur et qu'elles vont nous paralyser. Mais on y pense et la rédaction d'une stratégie telle qu'elle a été évoquée et demandée par le chef d'état-major des Armées est le premier acte de cette prise de conscience et de ce qu'on doit faire. De même qu'on a rédigé avec l'état-major de la Marine l'année dernière une stratégie des fonds marins qui présentent les mêmes caractéristiques : des technologies qui arrivent, des enjeux de compétition, une visibilité et une lisibilité de ce qui se passe souvent faibles. On s'aperçoit très rapidement que cela appelle des réponses capacitaires, des réponses opérationnelles et une réflexion stratégique.

Quels partenariats internationaux prévoyez-vous dans ce cadre d'opérations à très haute altitude ?

Bertrand LE MEUR

On en est probablement aux prémices. Le premier aspect sera de réfléchir à des partenariats sous l'angle capacitaire. C'est une mécanique bien connue des opérationnels, des états-majors et de la DGA sur la construction d'accords de coopération pour être capable de développer des moyens défensifs en général mais éventuellement offensifs.

Le second sera de savoir si on doit ou pas, comment on fait réguler ces espaces, comment on se donne les moyens de la surveillance et comment on interprète cette dernière.

On a parlé de ballons susceptibles de rester pendant six mois à un an en altitude, ce qui veut dire qu'ils décolleront de quelque part et se promèneront pendant un temps indéterminé. Il faudra se poser la question de savoir comment on les détecte, comment on les attribue. Savoir comment on les attribue c'est savoir d'où ils sont partis, qui les contrôle.

Cela supposera certainement à très moyen terme une capacité globale. Ce qui nous ramène à la question de savoir ce que l'on connaît de ce qui se passe dans cette zone. Ce n'est peut-être pas aujourd'hui un champ de préoccupation immédiat et constant. Il doit le devenir mais de manière un peu plus large que le contrôle aérien classique. Cela doit s'appréhender dans une vision mondiale parce que ces objets, qu'ils soient hypersoniques ou à déplacement lent, pourront venir de n'importe où et rester là pendant très longtemps.

Quels outils utiliser depuis l'espace pour mieux détecter ce qui peut se passer dans cette zone ?

Général de division aérienne Philippe ADAM

La détection de ce qui se passe dans l'atmosphère à partir de l'espace est déjà posée. On le fait déjà. On a parlé des moyens de surveillance situés sur la surface terrestre mais la surveillance des milieux spatial et aérien pourrait se faire, et se fait déjà dans certains cas, à partir de l'espace. Si on veut la systématiser et si on découvre que nos capteurs au sol sont incapables de répondre à la question il faudra développer des moyens spatiaux avec des systèmes et des technologies de détection qui restent encore à développer ou qui ne sont pas utilisés de façon opérationnelle aujourd'hui. Mais c'est déjà le cas dans certaines applications, notamment pour la détection de certains mobiles extrêmement véloces. Ces moyens sont généralement regroupés sous l'appellation « Alerte avancée ».

On sent bien qu'on ne peut pas le faire autrement que par l'espace qui offre la seule possibilité aujourd'hui de détecter des choses qui sont à la fois très lointaines et soumises à de nombreux obstacles si on cherchait à les détecter à partir de la surface de la Terre.

Quelles sont les technologies spatiales qui nous permettraient de mieux contrôler cette haute altitude, de mieux détecter ?

Franck LEFÈVRE

Quand on parle de très haute altitude on parle de grande vitesse et de portée relativement lointaine. D'un côté on a une espèce de dilatation de l'espace géographique d'engagement et, de l'autre, une contraction du temps pour intervenir et pour réagir.

À l'ONERA on travaille sur la technologie des radars de ciel. On a deux radars HF Nostradamus et Pégase. Le principe, c'est une émission depuis le sol, et la réflexion des ondes se fait sur la couche ionosphérique, une couche



de l'atmosphère qui commence à 80 km et qui peut aller jusqu'à 1.000 km et qui est ionisée par les rayons UV du soleil. Cela permettrait ainsi une surveillance par le haut de cette couche haute atmosphère.

C'est donc faisable ?

Franck LEFÈVRE

C'est faisable. Ce type d'ondes utilisées est intéressant. Elles sont discrètes et cela permet la détection d'objets furtifs. Ce type de radar est sensible à la fois à la dimension de l'objet et à sa vitesse. Cela tombe bien puisque on a là des vitesses élevées.

Comment imaginez-vous la continuité des opérations dans cette logique multi-milieux multi-champs ?

Sur quoi pouvez-vous travailler ensemble ?

Général de corps aérien Philippe MORALÈS

On se pose les questions de savoir comment les moyens spatiaux peuvent améliorer les opérations aériennes et ce que l'on peut apporter aux opérations spatiales avec les moyens aériens. Au fur et à mesure, on incrémente et on ajoute d'autres milieux, notamment cyber et électromagnétique. Petit à petit, on agrège le tout pour faire une opération la plus complète possible. Mais cela demande beaucoup d'entraînement ainsi que des centres de commandement permanents parce qu'il faut réagir en temps zéro. Ensuite il faut pouvoir s'entraîner très souvent. De cette manière on fait petit à petit du multi-milieux multi-champs.

Général de division aérienne Philippe ADAM

Là encore c'est une construction intellectuelle. C'est un peu comme la séparation entre l'air et l'espace. Je vois le multi-milieux multi-champs comme une extension du domaine de l'interarmées dont on parlait beaucoup jusqu'à présent et qui a été rendu plus compliqué par l'apparition de deux nouveaux champs de confrontation là où, au départ, on avait des domaines plutôt bienveillants. Les domaines du numérique et de l'espace étaient là pour apporter le bien à l'humanité. Ce n'est qu'assez récemment que l'on s'aperçoit qu'ils deviennent un champ de confrontation dont il faut se préoccuper aussi au niveau militaire.

L'espace depuis longtemps est utilisé pour produire des effets militaires. Le soutien de l'espace aux opérations militaires au sens large n'est pas nouveau. La coordination se faisait de façon relativement artisanale jusqu'à présent. Aujourd'hui on cherche à la systématiser. Les opérations militaires elles-mêmes s'étendent pour prendre en compte ces nouveaux champs de confrontation.

Dans le principe même, le multi-milieux multi-champs est surtout une affaire de relations efficaces entre les centres de commandement : savoir qui décide, que cela se fasse dans le bon tempo et que les décisions prises soient les bonnes parmi un nombre d'options qu'il faut réduire très vite parce qu'on n'a souvent pas le temps de réfléchir.

Les armes hypervéloces semblent se multiplier. Le domaine spatial peut-il apporter des réponses à ce nouvel enjeu ?

Général de division aérienne Philippe ADAM

On a des projets d'alerte avancée réalisée grâce à des composantes terrestres et spatiales. La composante spatiale permet de s'affranchir des problèmes de distance mais aussi de vélocité et de définir une réaction appropriée en temps contraint. Mais ce n'est pas forcément la seule réponse. Ces armes qui sont à la fois extrêmement rapides et manœuvrantes peuvent poser un vrai souci opérationnel et tactique à tout le monde.

Pourquoi parle-t-on de ces sujets aujourd'hui ? Est-ce un exercice d'agilité intellectuelle que l'on nous demande ? Qu'est-ce qui change par rapport à ce que vous avez pu apprendre ?

Général de corps aérien Philippe MORALÈS

On voit qu'il y a un progrès technologique. C'était un espace peu utilisé donc on ne s'est pas posé la question de savoir ce qu'il fallait y faire. Maintenant c'est un nouveau champ de découverte. On s'en occupe, on commence



petit à petit et c'est un bon exercice de style. Cela remet en question et nous permet de balayer tous nos principes. Le maître mot quand on travaille entre différents milieux c'est d'exprimer des effets. On regarde tous les effets qui se passent dans ces nouveaux milieux et comment on peut en tirer parti.

Général de division aérienne Philippe ADAM

La nature des choses a changé. La technologie a évolué. L'explosion des usages spatiaux et des opérateurs spatiaux change la donne, suivant en cela l'évolution du numérique et de la connectivité d'une façon générale. Aujourd'hui on vit dans un monde complètement interconnecté où l'information circule extrêmement vite. Il faut regarder les choses différemment. Là où autrefois on pouvait se permettre d'avoir des milieux qui agissaient de façon coordonnée mais finalement chacun un peu dans son domaine, aujourd'hui il faut vraiment qu'on travaille ensemble de façon extrêmement efficace et extrêmement rapide à cause de cette interdépendance qui se généralise de plus en plus.

Vous travaillez dans la prospective. Les choses s'accélèrent-elles en ce moment ?

Bertrand LE MEUR

Jusqu'à il n'y a pas très longtemps, notre mode de pensée était un mode de pensée de la supériorité technologique. Si on ne savait pas faire, les autres ne savaient pas faire. On le voit sur beaucoup de champs. On réfléchissait sous l'angle « si on ne l'a pas fait, les autres ne l'auront pas fait donc on est devant ».

Si l'on dialogue avec les Américains, les Anglais et d'autres on connaîtra le rythme d'évolution, on le maîtrisera et donc on pourra s'adapter.

Certains appellent cela l'accélération de l'histoire mais c'est surtout la prolifération de la technologie et l'accessibilité de la technologie. Les technologies dont on pensait jusqu'à il y a quelques années qu'elles nous étaient réservées sont de plus en plus accessibles à plein d'endroits. Beaucoup de pays dont on pensait il y a quelques années qu'ils étaient loin derrière nous montrent quotidiennement qu'ils ne sont plus si loin.

Ce nivellement technologique nous force à nous questionner en permanence pour savoir si on est toujours devant ou si quelqu'un n'est pas en train de passer devant. On n'est plus tout seul, donc il faut se poser la question de savoir ce que les autres font avec ces technologies dont on dispose et qu'on n'a peut-être pas complètement exploitées.

Cela voudrait-il dire qu'on est presque en retard en ce qui concerne la défense dans cette zone ?

Franck LEFÈVRE

En ce qui concerne la recherche, on n'est pas en retard. On a investigué ces domaines depuis très longtemps mais on a été très discret. On n'éprouvait pas le besoin d'aller plus loin dans les recherches puisqu'il y avait un certain nombre de ruptures technologiques à franchir. Si c'était de la science-fiction à une époque, ce n'est plus le cas et c'est la raison pour laquelle on en parle. On ne dit peut-être pas encore tout ce qu'on sait faire sur ces sujets mais, si on veut évoluer dans ce milieu, il ne suffira pas de pousser les technologies dans leur retranchement. Il faut aller au-delà, il faut aller à la rupture technologique. Il y a de véritables ruptures technologiques, c'est ce qui est intéressant et motivant pour un organisme de recherche comme l'ONERA.

En quoi consiste le programme ARES²² ? Concerne-t-il aussi la haute atmosphère ?

Général de division aérienne Philippe ADAM

Aujourd'hui le programme ARES ne concerne pas la haute atmosphère mais il y a des adhérences et la proximité géographique fait que les moyens développés dans ce cadre, qui sont destinés à assurer la maîtrise de l'espace, à comprendre ce qui s'y passe et à réagir aux actions malveillantes, pourront être utilisés au profit de la haute atmosphère. Les domaines étant extrêmement proches géographiquement, il n'y a pas de raison que ce qu'on fait d'un côté ne puisse pas servir de l'autre.



22. Action et résilience spatiale.

***Disposons-nous de vecteurs capables de neutraliser des moyens naviguant dans la haute atmosphère ?
Y a-t-il des projets dans ce domaine ?***

Général de division aérienne Philippe ADAM

On a les moyens de le faire. Aujourd'hui les applications envisagées dans la haute atmosphère font qu'on n'a pas développé de moyens spécifiques, mais les moyens existants devraient apporter une partie de la réponse avec les difficultés qui ont déjà été signalées sur le fait que c'est loin, c'est haut et probablement un peu plus difficile à détecter que les vecteurs qui volent dans les couches plus basses de l'atmosphère.

Général de corps aérien Philippe MORALÈS

On a déjà une première capacité à intercepter des missiles balistiques. Il suffit d'étendre un peu cela. Je pense aux missiles hypersoniques. Il y a un coût énorme dans l'interception ainsi que dans l'acquisition d'une capacité pareille. Est-ce que cela vaut le coup de faire ce domaine au risque d'en abandonner plein d'autres ?

L'armée de l'Air et de l'Espace développe-t-elle des partenariats avec d'autres armées pour supporter les coûts mais aussi pour la surveillance et les opérations dans la haute atmosphère ?

Général de corps aérien Philippe MORALÈS

Dans les basses couches on partage des données que ce soit au sein de l'OTAN ou avec nos voisins en accords bilatéraux. Concernant les espaces supérieurs, si on n'a pas de capteurs, si on ne peut pas détecter, on ne peut rien partager. Mais en l'occurrence il y a vraiment une dimension internationale et il faudra du partenariat avec des alliés pour voir le plus loin possible et anticiper au mieux.

Les puissances qui investissent dans le champ des HAO le font-elles principalement pour développer des missiles hypersoniques ?

Général de division aérienne Philippe ADAM

J'ai le sentiment qu'elles le font à la fois pour essayer de tirer parti des HAO mais aussi pour s'en défendre puisqu'il y a des usages qu'on n'imagine pas encore aujourd'hui mais qui probablement vont se multiplier. À partir du moment où l'on veut maîtriser ce qui se passe dans cet espace, on se pose forcément la question de savoir ce que les autres font avec.

Quel autre pays maîtrise le mieux actuellement cet espace ? Quels en sont les projets phares ?

Général de corps aérien Philippe MORALÈS

Il me semble que l'Italie est très intéressée par le sujet.

Franck LEFÈVRE

Dans le monde il doit y avoir une vingtaine de projets officiels sur le sujet.

Bertrand LE MEUR

Sous l'angle hypersonique, beaucoup de pays maîtrisent cet espace. L'essai chinois l'été dernier était assez révélateur, il mélangeait espace et HAO. La question n'est pas forcément celle des pays mais plutôt de savoir combien de sociétés se lancent dans des développements comme ceux évoqués par Thales, Airbus, Dassault ou les entreprises qui ont pitché. Personnellement j'ai la conviction qu'il y en a beaucoup.

Les missiles hypersoniques représentent-ils une rupture majeure pour les années à venir ?

Général de division aérienne Philippe ADAM

L'hypersonique n'est pas un domaine nouveau. La rupture ce n'est pas la vitesse mais plutôt le fait d'arriver à manœuvrer à cette vitesse. Potentiellement des choses préoccupantes se profilent. Comment va-t-on y réagir ? C'est autre chose.



Franck LEFÈVRE

La manœuvrabilité fait qu'il est très difficile de prédire le point d'impact. On n'est pas sur du balistique où l'on connaît exactement la trajectoire. C'est la difficulté.

Les principes de dissuasion nucléaire pourraient-ils être revus au fur et à mesure de la maîtrise de la haute atmosphère ?

Bertrand LE MEUR

À ce stade non. La doctrine française reste stable. On l'a étudiée, elle n'est pas modifiée par l'arrivée d'un missile hypersonique. Les enjeux pour la dissuasion française restent les mêmes. On répond par des missiles qui sont aussi hypersoniques.

L'OTAN a-t-elle des projets spécifiques dans la haute atmosphère ?

Général de corps aérien Philippe MORALÈS

L'OTAN n'a que les moyens de ses pays participants néanmoins elle peut coordonner une action entre ses différents membres.

Le SCAF23 inclut-il une réflexion à propos de la haute atmosphère ?

Général de division aérienne Philippe ADAM

Le SCAF utilise tout ce qui est disponible. Il est un outil de combat aérien et se nourrira de ce qu'apporte l'espace. Une de ses composantes est potentiellement spatiale. Si des capacités sont disponibles dans la haute atmosphère, il n'y a pas de raison que le système de combat futur ne puisse les utiliser. Le NGF²⁴ n'ira probablement pas jusque-là, il restera un avion relativement classique d'après ce qu'on voit aujourd'hui.

Franck LEFÈVRE

Les travaux menés dans le cadre de la feuille de route hypersonique de l'ONERA peuvent conduire à des mobiles hypersoniques qui pourraient faire partie du système de combat du SCAF.

Qu'aimeriez-vous que l'on retienne les uns et les autres de ces sujets sur lesquels vous travaillez avec vos équipes ?

Bertrand LE MEUR

Le futur est plein d'avenir. On verra des choses se développer. On se doit d'être attentif, de bien détecter les signaux faibles. Il ne faut pas aller trop vite parce qu'il ne faudrait pas se tromper de cible mais il se passera des choses, j'en suis convaincu. Ce que certains appellent le dérèglement du monde va faciliter l'appropriation par certains pays du potentiel de cette haute atmosphère.

Franck LEFÈVRE

On est dans un domaine où il y a des ruptures technologiques. Pour un organisme de recherche comme l'ONERA c'est très motivant. On s'inscrit pleinement dans ce dispositif et dans ces réflexions.

Général de division aérienne Philippe ADAM

Le futur est devant nous, il ne faut pas l'insulter, il faut le préparer avec sérieux et application.

Général de corps aérien Philippe MORALÈS

Tout ce que j'ai entendu cet après-midi a aiguisé mon appétit. En tant que responsable des opérations aériennes, je vois qu'il y a beaucoup de potentiel, pas mal de choses à faire. En tant que responsable de la défense aérienne c'est un peu moins avancé mais il y aura également beaucoup de choses à faire dans ce domaine. On va découvrir de nouvelles choses et il faudra se remettre en question certainement et très rapidement.

23. Système de combat aérien du futur.

24. Chasseur de nouvelle génération (*New Generation Fighter*).



Discours de Thomas GASSILLOUD, député, président de la commission de la défense nationale et des forces armées.

Le sujet que vous avez abordé aujourd'hui est complexe, mêlant les lois de la physique, des questions de droit, des questions industrielles, des dynamiques stratégiques, de capacités militaires.

Je voudrais m'arrêter sur trois idées :

1. L'extension du domaine des conflictualités est une réalité que l'on doit prendre en compte ;
2. Des exigences immédiates s'imposent à nous face aux enjeux de la très haute altitude ;
3. Nous devons le faire comprendre à nos concitoyens car, y compris dans la très haute altitude, il n'y a pas de défense nationale que si elle est l'affaire de tous.

Première idée, s'intéresser aux opérations dans la très haute altitude c'est rappeler que la guerre est un caméléon qui varie et grandit au rythme de la complexification des sociétés et des avancées technologiques.

A ce titre, on peut remettre en cause l'idée de la métaphore du village planétaire qui consisterait à faire croire que plus on avance et plus il y a une forme de rétrécissement. C'est plutôt l'inverse qui se produit. Chaque découverte scientifique, toute création de réalité sociale, toute spécialisation d'activité humaine est un enrichissement du monde, une complexification de son fonctionnement et une extension du champ des possibles.

La stratégie étant « *la dialectique des volontés, employant la force pour résoudre des conflits* », la guerre peut se déployer partout où une volonté est applicable afin de « *créer et exploiter une situation entraînant une désintégration morale de l'adversaire suffisante pour lui faire accepter les conditions qu'on veut lui imposer* »²⁵, si vous acceptez que j'utilise, en les tordant un peu, des axiomes célèbres du général Beaufre.

L'une des rares lois universelles de la guerre est l'extension continue du domaine du conflit.

On parle du concept de guerre multi-milieux multi-champs en se questionnant sur le nombre de milieux et de champs. C'est utile mais le plus important est d'avoir conscience que la nature même de la guerre ne connaît pas de frontières. Elle conduit à développer des rapports de force dans tous les domaines dans lesquels il est possible d'en créer au rythme des découvertes scientifiques, de l'accès par les technologies nouvelles à de nouveaux mondes ou au développement de nouvelles pratiques sociales.

Tout ceci doit nous conduire à anticiper et investir en permanence les multiples lieux où des confrontations de volontés pourront aller jusqu'à l'usage de la force. On doit être présent partout, dans tous les milieux, tous les champs, y compris les nouveaux qui s'ouvrent à nous.

Deuxième idée, il faut se saisir sans tarder des enjeux opérationnels de la très haute altitude comme les armées ont su le faire sur la question des fonds sous-marins ou de l'espace.

Le contexte stratégique y incite alors que le recours au rapport de force redevient une norme pour de nombreux compétiteurs qui cherchent à remettre en cause l'ordre international fondé sur le droit international et le multilatéralisme que nous promouvons. Il est donc important de fixer aujourd'hui des concepts et une stratégie pour que l'on ne soit pas dépendant d'une approche de la très haute altitude qui, développée par ces compétiteurs ou d'autres, serait contraire à nos intérêts de souveraineté.

Si nous disposons d'un modèle d'armée qui nous offre l'une des boîtes à outils militaires la plus large d'Europe, nous devons garantir notre capacité à éviter tout contournement de nos leviers de puissance par des stratégies qui exploiteraient des voies que nous n'aurions pas, ou mal, anticipées. L'espace aérien supérieur est l'un de ces espaces dont nous devons garantir qu'il ne sera pas celui du contournement. Des exigences s'imposent déjà à nous.

25. Général Beaufre, *Introduction à la stratégie*, 1963.



Il y a des enjeux de droit et de régulation. Par exemple dans la définition de la frontière entre l'espace aérien et l'espace exo-atmosphérique sur laquelle le comité d'éthique de la défense incite à une réflexion. Plus concrètement c'est aussi la question des modalités et des autorités de régulation qui vont encadrer le statut du *Higher Airspace* et doivent préserver nos intérêts de souveraineté. À l'heure de la convergence du secteur numérique et de l'industrie spatiale c'est aussi la question de la « gafamisation » possible de cet espace par des acteurs privés qui pourraient y remettre en cause les États.

Il y a des enjeux de doctrine. Quels sont les champs d'action possibles ? Que voulons-nous faire ? Que refusons-nous ? Si quelqu'un vient nous mettre une charge utile à plus de 20 km, est-ce qu'on veut simplement subir ou est-ce qu'on veut nous-mêmes être en mesure d'interdire une telle option ? Bien entendu, vous connaissez la réponse. Il est donc important de définir nos concepts et notre doctrine, tel que nous l'avons fait sur la question spatiale.

Il y a des enjeux capacitaires. Compte tenu de ce qui est possible et de ce que nous voulons faire, nous devons nous doter de capacités militaires et en inscrire les priorités dans les visions prospectives et nos programmations militaires à moyen terme pour surveiller, classifier et être en mesure d'agir.

Il y a des enjeux industriels. Notre action ne sera rien sans la capacité de notre BITD²⁶ à fournir des solutions souveraines et à exploiter des opportunités d'innovation. Il y a déjà des entreprises très engagées. Je félicite l'armée de l'Air et de l'Espace d'avoir pensé à en rendre compte dans les intermèdes entre les tables rondes pour présenter succinctement HEMERIA, ZEPHALTO, STRATOLIA même si d'autres entreprises investissent également ce champ d'innovation. La France a une carte à jouer et devra soutenir ses acteurs industriels pour contribuer à maintenir l'excellence technologique qui est l'une des clés de notre puissance.

Troisième idée, la véritable clé politique du programme que je viens de décrire réside dans l'attitude de nos concitoyens et leur adhésion à ces nouvelles dimensions de notre stratégie de défense.

Dans notre modèle démocratique notre véritable atout stratégique réside dans la résilience de la Nation et la capacité des citoyens à comprendre et soutenir nos opérations militaires, quel qu'en soit le milieu ou le champ dans lequel elles se déploient. C'est vrai en Afrique comme en Europe occidentale, comme ça l'est dans les espaces numériques, sous-marins ou extra-atmosphériques. Comme dans ces derniers domaines nous devons faire adhérer nos concitoyens aux exigences militaires qu'impose la possibilité d'utiliser le *Higher Airspace*. Il faut donc en parler, organiser des colloques, communiquer, rédiger, diffuser des stratégies explicites.

À l'heure où la société française se questionne, se fracture parfois, rappeler que la défense est l'affaire de tous c'est aussi dire que nous sommes un tout, les membres d'une Nation, un peuple souverain appelé à dessiner un avenir commun, pour nous et nos enfants.

Promouvoir la défense c'est dire que nous croyons en l'avenir et que le projet collectif dont nous sommes capables mérite qu'on y prenne soin et qu'on le défende au besoin par la force.



26. Base industrielle et technologique de défense.

Discours de clôture du général d'armée aérienne Stéphane MILLE, chef d'état-major de l'armée de l'Air et de l'Espace (CEMAAE).

Chaque nouvelle année ouvre la porte vers de nouveaux défis, de nouveaux enjeux et les HAO en sont la parfaite illustration.

Ce colloque de l'armée de l'Air et de l'Espace organisé par le CESA est un vrai succès en la matière.

Il traduit le dynamisme d'une pensée stratégique toujours renouvelée dans l'écosystème de défense.

Il est un vrai succès par la qualité des prises de parole et des réflexions partagées.

Je remercie à ce titre tous les intervenants, animateurs, participants, civils et militaires ainsi que l'audience présente en grand nombre et dont la diversité démontre l'intérêt collectif que suscite le sujet.

Il est un vrai succès enfin car il est un premier jalon structurant de l'élaboration d'une stratégie française sur les HAO.

Beaucoup de choses ont été abordées aujourd'hui. Je voudrais pour ma part insister sur la mobilisation de l'armée de l'Air et de l'Espace et son plein investissement pour prendre en compte les enjeux de cette tranche d'altitude et les problématiques associées afin de ne pas se voir imposer une utilisation du Higher Airspace qui serait contraire à nos intérêts.

Cet après-midi est en quelque sorte le « lâcher des freins », comme on dit en aéronautique militaire, de nos travaux avec une première restitution de nos analyses prospectives vers le chef d'état-major des Armées dans les mois à venir.

Dans un avenir plus ou moins proche les HAO s'ajouteront ainsi très certainement aux missions déjà existantes de l'armée de l'Air et de l'Espace.



Postface du Commissaire général (2S) Pascal Dupont

Une frontière invisible : la délimitation entre les espaces aériens et extra-atmosphérique

Pascal DUPONT

Bien qu'elle soit habituellement fixée à une altitude fixée autour de 100 km au-dessus de la surface de la Terre, la limite entre l'atmosphère terrestre et l'espace est toujours débattue entre les États et au sein des organisations internationales. Elle conserve toute son actualité comme en témoigne l'affaire du ballon chinois abattu au-dessus de la Caroline du Nord en février 2023²⁷. À cette occasion, certains commentateurs ont cru affirmer que cet aéronef, dont le statut demeure incertain, n'évoluait plus dans l'espace aérien au motif qu'il avait été détecté dans l'espace aérien de haute altitude, ce qui est une erreur manifeste car ce dernier reste placé sous la souveraineté de l'État survolé, même s'il n'est plus dans l'espace aérien dit contrôlé²⁸. L'air et l'espace, tout comme le territoire terrestre, ont une frontière, mais quelle est-elle exactement ?

1-Une frontière fixée initialement en fonction des critères physiques du milieu

L'air et l'espace intéressent les relations internationales depuis que, grâce aux progrès techniques, des activités humaines y sont possibles. Il semble que les premiers vols de ballons à air chaud soient apparus en Chine²⁹, suivis par le premier vol habité en 1783 avec le ballon des frères Montgolfier, puis le planeur en 1856 et l'aéronef en 1890. Quant aux activités spatiales, elles commencent avec le lancement par l'URSS du premier satellite artificiel Spoutnik I le 4 octobre 1957 et le programme Apollo de la NASA entre 1961 et 1972 qui permet aux États-Unis d'envoyer des hommes sur la Lune. Elles se diversifient ensuite avec les vols dit suborbitaux liés à l'utilisation des satellites à des fins de télécommunications, de télédétection et de navigation et au...tourisme spatial. Comme l'air avec l'aviation légère et surtout le transport aérien, l'espace a vocation à être utilisé par un nombre croissant d'acteurs privés, incarnés actuellement par les entrepreneurs américains Elon Musk avec Space X ou Jeff Bezos avec Blue Origin qui disposent non seulement d'engins mais de lanceurs spatiaux.

Une différence essentielle sépare toutefois les deux types d'activités : le milieu où elles s'exercent qui renvoie à une ligne de partage ou de démarcation. Cette frontière, qui désigne à la fois le plafond de l'espace atmosphérique et le plancher de l'espace extra-atmosphérique, est connue sous l'appellation de la ligne de Karman³⁰ à partir de laquelle l'atmosphère terrestre devient trop faible pour sustenter un aéronef mais suffisante pour permettre à un satellite d'orbiter. L'espace extra-atmosphérique étant, par définition, infini, la question qui importe le plus est celle de son plancher, qui est aussi la limite supérieure de l'espace aérien.

Cette frontière est importante à plus d'un titre. Tout d'abord parce qu'il convient de distinguer les véhicules aériens (aéronefs à voilure fixe ou tournante, ballons ...) des véhicules spatiaux (fusées, navettes spatiales et satellites, stations orbitales...) Les premiers utilisent la portance de l'air, tandis que les autres subissent les lois de la gravitation et sont utilisés différemment. S'agissant des satellites, la navigation dans l'espace orbital terrestre conduit à distinguer entre trois zones :

- la zone située entre 100 et 110 km d'altitude utilisée jusqu'ici pour l'observation par des satellites militaires devient une destination privilégiée pour les vols suborbitaux touristiques ;

27. Du même auteur, « Géopolitique de l'air : l'affaire du ballon chinois abattu au-dessus de la Caroline du Sud », Défense nationale, Tribune n°1468, 17 février 2023.

28. En France, les espaces aériens contrôlés désignent l'espace aérien au-dessus d'une certaine altitude, entre les niveaux de vol 115 et 660 (11 500 et 66 000 pieds en atmosphère standard, c'est-à-dire entre 3 500 et 20 100 m).

29. Le stratège Zhuge Liang (181-234) à l'époque des Trois Royaumes de Chine a utilisé des lanternes aéroportées pour la signalisation militaire connues sous le nom de lanterne céleste.

30. Theodore von Kármán (1881-1963), ingénieur hongrois et américain spécialisé en aéronautique, il fut l'un des premiers à démontrer l'importance de l'aile en flèche qui est l'alpha et l'oméga des avions à réaction modernes. Son nom a été donné à des cratères sur la Lune et la planète Mars, ainsi qu'au Laboratoire aérotechnique situé à Rhode-Saint-Genèse, près de Bruxelles qui porte aujourd'hui le nom d'Institut Von Karman de dynamique des fluides. La valeur initialement calculée par Kármán était de 83,6 km, ramenée à 80 km par la NASA.



- la zone comprise entre 300 et 1 500 km d'altitude est celle des stations orbitales habitées ;
 - la zone géostationnaire à 36 000 km est utilisée pour les satellites et les applications géostationnaires³¹.
- Ensuite parce que le régime juridique applicable y est différent : souveraineté de l'État survolé s'agissant de l'espace aérien et régime de liberté pour l'espace *stricto sensu*.

2-Une délimitation assortie de différences de traitement pour les utilisateurs des deux espaces

L'application du concept de souveraineté dans la troisième dimension conduit à s'interroger sur la définition et la délimitation de l'espace atmosphérique. Si tout État dispose d'un espace atmosphérique situé au-dessus de son territoire, qui est l'air territorial, il existe aussi des espaces internationaux, comme la haute-mer et l'espace stricto sensu qui échappent à toute souveraineté. D'après l'article 1^{er} de la Convention de Chicago du 2 décembre 1944, « *les États contractants reconnaissent que chaque État a la souveraineté complète et exclusive sur l'espace aérien au-dessus de son territoire* »³². À ce titre, la délimitation de l'espace aérien est double dans la mesure où ce dernier comporte une limite horizontale et une limite verticale. Les frontières aériennes horizontales étant délimitées par référence aux frontières terrestres et maritimes, ce sont donc les limites extérieures de la mer territoriale, fixées à une zone de douze milles marins, qui délimitent latéralement l'espace aérien. L'article 2 de la convention de Chicago précise qu'il faut entendre par territoire d'un État : « *les régions terrestres et les eaux territoriales adjacentes qui se trouvent sous la souveraineté (...) dudit État* ». En revanche, la limite verticale de l'espace aérien n'a pas été définie dans cet instrument juridique international et pour cause puisqu'il était destiné, au sortir de la seconde guerre mondiale, à fixer les règles et les principes de la navigation aérienne et de son activité la plus importante, le transport aérien, effectué à l'époque avec des avions à turbopropulseurs. Le Traité du 27 janvier 1967 sur les activités spatiales³³ affirme en son article 2 le principe de la liberté d'exploration et d'utilisation de l'espace extra-atmosphérique qui ne peut faire l'objet d'appropriation nationale par proclamation de souveraineté, ni par voie d'utilisation ou d'occupation, ni par aucun autre moyen.

Cependant, plusieurs pays dont les États-Unis sont opposés à une délimitation formelle et internationale de l'espace, qui permettrait de limiter les revendications exprimées par les États équatoriaux lors de la Déclaration de Bogota en 1976, qui, de par leur positionnement, bénéficient d'un avantage pour procéder au lancement d'engins³⁴. D'autres estiment au contraire qu'une frontière est nécessaire compte tenu du nombre de programmes spatiaux nationaux et d'entreprises privées proposant des vols spatiaux commerciaux. Deux tendances s'affrontent également au sein des organisations internationales avec d'un côté les partisans, et, de l'autre, les adversaires du tracé d'une limite entre les deux milieux³⁵. Finalement, il est à peu près acquis aujourd'hui que cette frontière ne pourra pas être fixée sur les seules données scientifiques et technologiques. Elle devra, en tout état de cause, prendre en compte des considérations politiques, économiques et militaires³⁶ et reste tributaire des dissensions au sein de la communauté internationale sur ce sujet, comme sur d'autres questions de droit international, comme le cyberspace.

Pour importante qu'elle soit, la question de la frontière entre les espaces atmosphérique et extra-atmosphérique n'a provoqué jusqu'ici aucun conflit et n'a pas perturbé le développement des activités aériennes et spatiales n'en a été gêné. Elle pourrait toutefois le devenir avec le développement de véhicules mixtes - civils ou militaires-publics ou privés) et la multiplication des activités en deçà et au-delà de la fameuse ligne de Karman.

31. Mireille Couston, *Droit spatial*, Ellipses, mars 2014, p.16.

32. Convention de Chicago relative à l'aviation civile internationale du 2 décembre 1944, Doc. 7300/9, 9^e édition, 2006.

33. ONU, ST/SPACE/11, New York, novembre 2002; Traité du 27 janvier 1967 sur les principes régissant les activités spatiales des États en matière d'exploration et d'utilisation de l'espace extra-atmosphérique, y compris la Lune et les autres corps célestes.

34. P-M Dupuy, *Droit international public*, Dalloz, 15^e édition, n°680, p. 888.

35. S'agissant du droit applicable aux activités aériennes et spatiales, la France retient une approche fonctionnaliste qui se fonde sur les caractéristiques techniques de l'engin et sur la finalité de l'activité considérée.

36. Mireille Couston, « Du nouveau dans la délimitation de l'air et de l'espace », *Revue française de droit aérien et spatial*, vol. 250 - N°2 - 2009, p. 133-135.

