



N° 1574

---

# ASSEMBLÉE NATIONALE

CONSTITUTION DU 4 OCTOBRE 1958

QUINZIÈME LÉGISLATURE

---

---

Enregistré à la Présidence de l'Assemblée nationale le 15 janvier 2019.

## RAPPORT D'INFORMATION

DÉPOSÉ

*en application de l'article 145 du Règlement*

PAR LA COMMISSION DE LA DÉFENSE NATIONALE ET DES FORCES ARMÉES

en conclusion des travaux d'une mission d'information <sup>(1)</sup>  
*sur le **secteur spatial de défense***

ET PRÉSENTÉ PAR

MM. OLIVIER BECHT ET STÉPHANE TROMPILLE,  
Députés.

---

---

<sup>(1)</sup> La composition de cette mission figure au verso de la présente page.

*La mission d'information sur le secteur spatial de défense est composée de :*

- MM. Olivier Becht et Stéphane Trompille, *rapporteurs* ;
- Mme Aude Bono-Vandorme, M. Fabien Gouttefarde, Mme Manuëla Kéclard-Mondésir, MM. Bastien Lachaud, Fabien Lainé, et Jean-Louis Thiériot, *membres*.

## SOMMAIRE

	Pages
<b>INTRODUCTION</b> .....	11
<b>PREMIÈRE PARTIE : NOTRE PUISSANCE SPATIALE EST À LA FOIS PLUS CRUCIALE ET PLUS CONTESTÉE QUE JAMAIS</b> .....	13
<b>I. LA FRANCE A DÉVELOPPÉ DES CAPACITÉS SPATIALES DE DÉFENSE ET UNE BASE INDUSTRIELLE ET TECHNOLOGIQUE COMPLÈTES, CRÉDIBLES ET PERFORMANTES</b> .....	13
<b>A. DES CAPACITÉS SPATIALES MILITAIRES DE HAUT NIVEAU, QUI EXPLOITENT AU MIEUX LA DUALITÉ DU SECTEUR SPATIAL</b> .....	14
1. La France possède des capacités spatiales militaires de pointe .....	14
a. Des capacités spatiales souveraines et modernes .....	15
i. Des capacités de lancement .....	15
ii. Une gamme étendue de satellites militaires .....	15
b. Une chaîne de commandement et de contrôle des opérations spatiales .....	18
i. Une chaîne peu étoffée mais cohérente de commandement et de contrôle .....	18
ii. Des moyens souverains de surveillance de l'espace .....	20
2. L'organisation de notre secteur spatial de défense exploite au mieux les synergies résultant de la dualité des technologies spatiales .....	25
a. Une chaîne de commandement et de contrôle qui repose en partie sur les compétences duales du CNES .....	26
i. Les moyens du CNES mis au service des armées .....	26
ii. Le pilotage des satellites .....	26
iii. Un concours à la surveillance de l'espace .....	28
b. Un écosystème dual de recherche, d'industrie et de conduite des programmes de systèmes orbitaux de défense .....	29
i. Un rôle important du CNES en appui de la direction générale de l'armement .....	29
ii. Une industrie duale .....	31
iii. Un écosystème efficace .....	34

<b>B. UNE BASE INDUSTRIELLE ET TECHNOLOGIQUE EFFICIENTE</b> .....	35
1. Un organisme de recherche amont de premier rang mondial .....	35
2. Une industrie spatiale reconnue pour son excellence .....	37
a. Les acteurs français comptent parmi les premiers acteurs mondiaux .....	37
i. La filière française .....	37
ii. Les principaux acteurs de la filière .....	37
b. Un outil industriel innovant .....	40
i. Un outil industriel complet et moderne .....	40
ii. Des programmes de recherche et développement ambitieux .....	41
<b>II. AVEC L'ESSOR DES TECHNOLOGIES SPATIALES, ÉMERGENT DE NOUVEAUX CONCURRENTS POUR NOTRE INDUSTRIE ET DE NOUVELLES VULNÉRABILITÉS POUR NOS FORCES</b> .....	44
<b>A. UNE RÉVOLUTION INDUSTRIELLE QU'INCARNE LE <i>NEW SPACE</i> ET QUI SOUMET LE SECTEUR SPATIAL FRANÇAIS À UNE VIVE CONCURRENCE</b> .....	44
1. Une puissante vague de renouveau industriel et d'innovation dans le secteur spatial, née aux États-Unis .....	44
a. Qu'est-ce que le <i>New Space</i> ? .....	45
i. Le résultat d'un intérêt nouveau des marchés privés de capitaux pour le secteur spatial..	45
ii. Une industrie qui a innové moins par ses capacités de R&D que par son art d'industrialiser des technologies mises à disposition par la NASA .....	46
iii. Un secteur nourri par l'économie numérique .....	47
iv. Une ambition, peut-être non feinte, de relance de la conquête spatiale.....	49
b. Un défi concurrentiel pour la base industrielle et technologique française et européenne .....	50
i. Les Français, comme les autres Européens, ont d'abord été volontiers sceptiques quant aux promesses du <i>New Space</i> et affrontent aujourd'hui une concurrence renforcée .....	50
ii. L'industrie des lanceurs semble pâtir davantage que celle des objets orbitaux de la concurrence du <i>New Space</i> .....	52
2. Des enjeux de souveraineté industrielle qui intéressent la défense .....	55
a. Les applications militaires possibles des technologies du <i>New Space</i> .....	55
b. La situation particulière des lanceurs.....	57
<b>B. UNE DÉPENDANCE CROISSANTE AUX MOYENS SPATIAUX, FACTEUR DE VULNÉRABILITÉS NOUVELLES</b> .....	60
1. Les opérations militaires sont désormais très dépendantes des moyens spatiaux ..	60
a. Dès à présent, les moyens spatiaux sont indispensables à la planification et à la conduite des opérations.....	60
b. L'évolution annoncée des technologies militaires tend à accroître encore la dépendance des armées .....	62

2. Compte tenu des risques et des menaces croissants dans l'espace, la dépendance aux moyens spatiaux crée des vulnérabilités nouvelles .....	62
a. Des risques de toute nature.....	63
i. Le risque de déni de service .....	63
ii. Le risque d'espionnage.....	63
iii. Le risque d'actes offensifs .....	63
iv. Le risque cybernétique .....	64
b. Des vulnérabilités concernant l'ensemble des segments des systèmes orbitaux.....	64

## **SECONDE PARTIE : IL EST TEMPS QUE SOIT ÉLABORÉE UNE VÉRITABLE STRATÉGIE DE DÉFENSE SPATIALE .....**

67

### **I. LES ÉVOLUTIONS PRÉVISIBLES DU CONTEXTE SPATIAL APPELLENT UNE VÉRITABLE STRATÉGIE DE DÉFENSE SPATIALE .....**

67

#### **A. L'ESPACE, MARQUÉ PAR DES RISQUES CROISSANTS, DEVIENT UN MILIEU DE CONFRONTATION STRATÉGIQUE .....**

67

1. La prolifération des moyens spatiaux et la densification des orbites.....	68
a. Le nombre d'acteurs spatiaux va croissant.....	68
b. La densification des orbites accentue les risques de collisions .....	68
2. L'espace est non seulement militarisé, mais son arsenalisation paraît inexorable .	69
a. La militarisation de l'espace est un fait déjà ancien .....	69
b. L'arsenalisation de l'espace paraît inexorable .....	71
i. L'arsenalisation de l'espace est une réalité.....	71
ii. La réalité de l'arsenalisation de l'espace paraît assumée de plus en plus ouvertement par certaines puissances.....	74
3. Des facteurs d'instabilité stratégique dans le milieu spatial .....	76
a. Des formes de prolifération .....	77
b. Des risques de frappe en premier .....	77
c. Des risques d'escalade accidentelle ou involontaire.....	77
4. Montée des tensions et des confrontations.....	78
a. L'espace devient un lieu de confrontation plutôt que de coopération .....	78
i. L'échec des tentatives visant à faire prévaloir des règles de coopération pour l'action dans l'espace.....	78
ii. Les logiques de domination, et donc de confrontation, s'imposent.....	80
b. Des armes et autres moyens d'action dans l'espace pourraient ne pas rester des armes de non-emploi.....	81
i. L'arsenalisation de l'espace pourrait suivre deux logiques opposées : l'une calquée sur la dissuasion, l'autre sur la cyberdéfense .....	81
ii. La vision non-dissuasive de l'arsenalisation de l'espace n'est pas un tabou parmi les principales puissances spatiales .....	82

<b>B. LES ENJEUX STRATÉGIQUES À L'ŒUVRE APPELLENT UNE DOCTRINE, UNE ORGANISATION ET UNE PROGRAMMATION CAPACITAIRE COHÉRENTES</b> .....	84
1. Des enjeux stratégiques profondément renouvelés .....	84
a. Des enjeux militaires .....	84
i. Des enjeux de sûreté spatiale .....	84
ii. Des enjeux de gouvernance .....	85
b. Des enjeux duaux, qui s'attachent notamment à la relance de la conquête spatiale .....	85
i. Des projets d'établissement exo-atmosphérique pérenne et lointain .....	86
ii. Des projets d'exploitation des ressources naturelles exo-atmosphériques .....	86
2. Un nécessaire renouvellement de la réflexion stratégique .....	91
a. D'autres États élaborent des stratégies de défense spatiale .....	92
i. Une réflexion stratégique sur l'espace sous un angle spécifiquement militaire .....	92
ii. Une doctrine qui n'exclurait plus la conduite d'actions contre-offensives dans l'espace .....	92
iii. Un accent sur la résilience des capacités spatiales .....	93
b. La France gagnerait à établir elle aussi une doctrine de défense spatiale, dont découleraient le cas échéant une programmation capacitaire et des mesures d'organisation des forces .....	94
i. D'abord, une doctrine .....	94
ii. Ensuite, une programmation capacitaire .....	95
iii. Enfin, d'éventuels ajustements dans la gouvernance du secteur spatial de défense .....	95
3. Une stratégie de défense spatiale crédible pour la France doit exploiter au mieux le caractère dual du secteur spatial .....	98
a. Consolider la base industrielle et technologique de défense .....	98
i. En consentant les investissements duaux qui s'imposent .....	98
ii. En développant les dispositifs publics ou privés de soutien à l'innovation .....	99
iii. Un soutien qui ne se limite pas aux <i>start-up</i> .....	101
b. Développer la résilience des infrastructures spatiales critiques .....	102
c. Éviter de coûteuses duplications de moyens .....	102
4. Une stratégie française de défense spatiale efficiente peut utilement exploiter la dimension partenariale des activités spatiales .....	103
a. La coopération spatiale européenne mérite des efforts de relance .....	103
i. Une coopération dans le secteur spatial de défense compliquée par des divergences de points de vue entre Européens parfois rivaux .....	103
ii. Une possible « fenêtre de tir » pour le lancement d'un projet fédérateur .....	105
b. Coopérer avec les États-Unis, pourvu que ce ne soit pas en position de dépendance, offrir des possibilités opérationnelles intéressantes .....	110
i. Les bénéfices mutuels d'une coopération opérationnelle étroite avec les États-Unis .....	110

ii. Un intérêt particulier des Américains pour la coopération franco-américaine.....	110
iii. La coopération n'exclut pas la vigilance .....	111
c. Coopérer aussi avec nos compétiteurs stratégiques.....	112
i. Le secteur spatial constitue un des derniers « canaux » de coopération majeure des Occidentaux avec la Russie.....	112
ii. Coopérer avec la Chine .....	112
d. Des questions de sécurité pouvant être traitées de façon coopérative.....	113
<b>II. ÉLÉMENTS DE RÉFLEXION POUR UNE NOUVELLE STRATÉGIE DE DÉFENSE SPATIALE .....</b>	<b>114</b>
<b>A. POUR UNE STRATÉGIE DE DÉFENSE SPATIALE AMBITIEUSE, COMPLÈTE ET CRÉDIBLE.....</b>	<b>114</b>
1. Instituer une mission de « défense spatiale » à part entière.....	114
a. Distinguer clairement défense spatiale et défense aérienne .....	114
b. Assigner aux armées la responsabilité principale de la mission de défense spatiale .....	115
2. Établir une doctrine ambitieuse de défense des intérêts français dans l'espace exo-atmosphérique.....	116
a. Se donner la possibilité de répondre à toute action affectant nos moyens spatiaux .....	116
b. Un enjeu de politique déclaratoire.....	118
<b>B. POUR UNE PROGRAMMATION D'INVESTISSEMENTS CAPACITAIRES.....</b>	<b>118</b>
1. Une priorité : investir dans le renouvellement de nos capacités de surveillance de l'espace.....	119
a. Une capacité performante de surveillance de l'espace constitue le fondement de toute stratégie crédible de défense spatiale.....	119
i. Les lacunes présentes et futures de nos capacités .....	119
ii. L'indispensable renouvellement des capacités de surveillance de l'espace peut s'articuler avec des initiatives européennes .....	121
b. Différentes solutions techniques méritent d'être étudiées .....	122
i. Des technologies de surveillance de l'espace depuis l'espace ? .....	122
ii. Des technologies de surveillance de l'espace depuis la Terre ? .....	123
2. Une nécessité : investir dans des capacités nouvelles d'action dans l'espace, au moins à titre de démonstration .....	127
a. De premiers moyens d'action dans l'espace, par exemple par des lasers de haute intensité.....	127
i. L'intérêt de moyens « non-cinétiques » .....	127
ii. Le cas plus discutable des moyens cinétiques .....	129
b. Des démonstrateurs de technologies de rupture.....	130
i. Les constellations de satellites.....	130

ii. Les véhicules spatiaux manœuvrants : <i>Space Start</i> , <i>Space Tug</i> et <i>Space Rider</i> .....	131
iii. Les pseudo-satellites .....	133
iv. Les lanceurs « réactifs » .....	134
<b>C. POUR UNE « INCARNATION ORGANIQUE » DE LA DÉFENSE SPATIALE DANS L'ARCHITECTURE DES ARMÉES</b> .....	134
1. Pour un renforcement des ressources humaines des armées en matière de défense spatiale .....	135
a. Les effectifs affectés à la défense spatiale sont aujourd'hui insuffisants.....	135
b. Pour une hausse modeste des effectifs articulée avec la constitution d'une filière spécifique de gestion des ressources humaines .....	135
2. Vers une « armée de l'air et de l'espace » ? .....	136
a. Les enjeux d'une « incarnation organique » de la défense spatiale.....	136
b. Les solutions envisageables .....	137
i. Un périmètre de compétences large, incluant les ressources humaines, plaide en faveur d'un rattachement à l'armée de l'air .....	137
ii. Une clarification possible des responsabilités autour du concept de « gestionnaire unique du milieu » .....	138
<b>D. ADOSSER LA DÉFENSE SPATIALE À UNE POLITIQUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE AFFERMIE</b> .....	139
1. Un effort de R&T et de R&D dans de grands champs de technologies spatiales duales.....	139
a. Les « feuilles de route technologiques » de l'ONERA .....	139
i. L'alerte spatiale avancée, prolongement de la surveillance de l'espace .....	139
ii. La survivabilité des moyens orbitaux .....	141
iii. De nouvelles générations de charges utiles de reconnaissance .....	143
iv. Préparer dès à présent la relève de CSO .....	144
b. Un nécessaire accroissement du soutien à la R&T sans application immédiate (dite la « deep tech »).....	145
2. Un cap : « rester dans la course » pour ne pas être marginalisé dans la conquête de l'espace .....	146
a. En dépensant peu : prendre des parts dans les projets les plus ambitieux .....	147
i. L'importance des grands projets fédérateurs.....	147
ii. Une participation au juste niveau des capacités françaises .....	148
b. En ne dépensant rien : établir dès à présent un cadre législatif pour la conquête commerciale de l'espace .....	149
<b>PRINCIPALES RECOMMANDATIONS DES RAPPORTEURS</b> .....	151
<b>EXAMEN EN COMMISSION</b> .....	153



<b>ANNEXES</b> .....	175
<b>ANNEXE 1 : AUDITIONS DE LA MISSION D'INFORMATION</b> .....	175
<b>ANNEXE 2 : DÉPLACEMENTS DES RAPPORTEURS</b> .....	177
<b>ANNEXE 3 : CONTRIBUTION DU GROUPE LA FRANCE INSOUMISE</b> .....	179



## INTRODUCTION

Les moyens spatiaux sont devenus l'épine dorsale de nombre de systèmes technologiques et constituent de ce fait des infrastructures essentielles au bon fonctionnement de nombre d'activités dans notre société. Que l'on songe, pour s'en convaincre, à la place prise par le GPS, sans lequel les transactions financières ne seraient plus synchronisées, les transports orientés et nombre d'armements guidés. En effet, les armées n'échappent pas à cette dépendance croissante aux moyens spatiaux.

À l'instar du milieu aérien au début du XX<sup>e</sup> siècle ou, plus récemment, des réseaux numériques, l'espace a d'abord été utilisé par les armées à des fins de soutien aux opérations conduites dans les autres milieux. La France y a ainsi déployé un ensemble crédible et performant de systèmes d'observation et de transmissions, au renouvellement desquels pourvoit d'ailleurs la nouvelle loi de programmation militaire. Ces capacités spatiales militaires ont pu être développées, placées en orbite et exploitées de façon d'autant plus efficiente que la France a su exploiter au mieux la dualité des technologies spatiales. Le secteur spatial de défense bénéficie ainsi à l'excellence reconnue du Centre national des études spatiales, de nos organismes de recherche – notamment l'Office national d'études et de recherches aérospatiales – et de notre industrie spatiale.

Mais, tout comme le milieu aérien est devenu un milieu d'opérations militaires à part entière pendant la Grande Guerre, et de la même façon que la cyberdéfense est devenue une nécessité, l'espace devient un champ de confrontation entre des puissances et, bientôt peut-être, des acteurs privés. La vague d'innovation à l'œuvre dans le secteur spatial, souvent désignée comme le *New Space*, a rendu possible le développement de moyens spatiaux nouveaux et a rendu les technologies spatiales accessibles à un plus grand nombre d'acteurs. Ainsi, l'arsenalisation de l'espace est en cours ; qu'on le regrette ou non, c'est un fait. Parallèlement, dans le contexte général de durcissement des rapports de force, bien souligné par la Revue stratégique, l'espace devient l'objet d'ambitions rivales et le lieu de tensions accrues.

Les risques sont donc tels qu'il convient aujourd'hui de faire en sorte que l'espace ne devienne pas le talon d'Achille de nos armées ou de notre société. C'est dans cette optique que le présent rapport formule des propositions pour l'élaboration d'une stratégie de défense spatiale complète, crédible et réaliste.



## **PREMIÈRE PARTIE : NOTRE PUISSANCE SPATIALE EST À LA FOIS PLUS CRUCIALE ET PLUS CONTESTÉE QUE JAMAIS**

Si la France est reconnue dans le monde pour avoir acquis un statut de puissance spatiale de premier rang avec une grande économie de moyens, sa position se trouve aujourd'hui fragilisée à deux égards. D'une part, sur le plan de la sécurité, avec la dépendance croissante des opérations militaires comme civiles aux moyens spatiaux et le développement des menaces dans l'espace, toute puissance spatiale se trouve vulnérable. D'autre part, sur le plan industriel et technologique, les développements récents de l'industrie spatiale – bien connus sous l'appellation de *New Space* – comportent un risque de décrochage pour certains pans de notre industrie spatiale. L'une comme l'autre de ces deux évolutions comportent des enjeux de souveraineté majeurs pour la France.

### **I. LA FRANCE A DÉVELOPPÉ DES CAPACITÉS SPATIALES DE DÉFENSE ET UNE BASE INDUSTRIELLE ET TECHNOLOGIQUE COMPLÈTES, CRÉDIBLES ET PERFORMANTES**

Selon les données présentées aux rapporteurs par le centre national des études spatiales (CNES), la France est l'une des puissances qui consentent, à proportion de leur poids dans le monde, le plus grand effort d'investissement public dans le secteur spatial. En effet, si l'on rapporte les budgets spatiaux civils au nombre d'habitants, la France constitue même le second investisseur mondial, avec 35 euros de dépenses par an et par habitant, derrière les États-Unis – 50 euros – mais devant l'Allemagne – 20 euros – et le Royaume-Uni – 8 euros –, les informations publiques ne permettant pas de prendre en compte la Russie et la Chine dans ces comparaisons. Néanmoins, en valeur absolue, la seule hausse du budget de la NASA entre 2017 et 2018 représente à elle seule le budget annuel moyen du CNES.

Cet investissement civil n'est pas sans effet sur le secteur spatial de défense ; au contraire, l'une des spécificités de la politique spatiale française, depuis ses débuts, tient à l'exploitation particulièrement poussée des synergies entre secteur civil et secteur militaire. Cette organisation, d'une remarquable efficience, vaut à notre secteur spatial de défense de soutenir la comparaison avec ses équivalents étrangers, tant s'agissant de la qualité de nos capacités spatiales militaires que de la performance de l'écosystème industriel et scientifique qui les sous-tend.

## **A. DES CAPACITÉS SPATIALES MILITAIRES DE HAUT NIVEAU, QUI EXPLOITENT AU MIEUX LA DUALITÉ DU SECTEUR SPATIAL**

M. Jean-Jacques Dordain, ancien directeur général de l'Agence spatiale européenne, a rappelé que la France a pris un rôle de premier rang en Europe dans la « course à l'espace », jusqu'alors dominée par les Soviétiques et les Américains.

Ainsi, elle a été la première puissance européenne à se doter d'une agence spatiale, sous l'autorité du Premier ministre – signe de l'importance accordée à cette politique –, et a conduit des projets ambitieux. Le premier de ces projets, de façon logique, a concerné les lanceurs, avec la fusée Diamant ; ont suivi des projets d'engins spatiaux. C'est également la France qui a pris l'initiative de créer deux organismes européens, associant d'emblée le Royaume-Uni :

– le Centre européen pour la construction de lanceurs d'engins spatiaux, ou CECLES, également connu par son acronyme en anglais ELDO, pour *European Launcher Development Organisation*, qui avait pour objet la coopération dans le domaine des lanceurs ;

– le Conseil européen de recherches spatiales, ou CERS, en anglais « *European Space Research Organisation* » (ESRO), pour des coopérations scientifiques.

Dans les années 1960, le projet ELDO a débouché sur un lanceur appelé Europa, qui a connu autant d'échecs que de succès. Les projets ESRO, en revanche, ont été des succès. C'est à partir de ces deux projets – l'un vu comme un échec, l'autre comme une réussite – qu'a été créée l'Agence spatiale européenne (ASE), qui s'est vue assigner de surcroît des missions dans le domaine des services. L'Agence a connu davantage de succès que l'ELDO dans les lanceurs, avec les fusées Ariane et a poursuivi avec le même succès que l'ESRO ses projets scientifiques et a développé une gamme de services aux citoyens « *aujourd'hui structurants passés dans la vie quotidienne* », telle la météorologie.

Le niveau de nos capacités actuelles, y compris militaires, constitue l'héritage de cette histoire.

### **1. La France possède des capacités spatiales militaires de pointe**

Si les capacités spatiales des armées françaises ne peuvent pas être comparées en volume à celles d'autres puissances, comme les États-Unis ou la Chine et la Russie, elles n'en présentent pas moins le double avantage d'être complètes et d'un très haut niveau de performance.

### ***a. Des capacités spatiales souveraines et modernes***

#### **i. Des capacités de lancement**

Les programmes successifs de lanceurs Ariane offrent aux armées une capacité d'accès souverain à l'espace. Qui plus est, le site de lancement de ces fusées, au centre spatial guyanais de Kourou, se trouve en territoire français.

La possession de moyens souverains de lancement n'interdit cependant pas de recourir à d'autres moyens de mise en orbite. Ainsi, le ministère des Armées se conserve la possibilité d'utiliser le lanceur russe Soyouz, moins onéreux qu'Ariane 5.

#### **ii. Une gamme étendue de satellites militaires**

Le général Michel Friedling, commandant interarmées de l'espace, a souligné que les Livres blancs de 2008 et de 2013 ainsi que la revue stratégique de 2017 accordent une priorité à la fonction stratégique « connaissance et anticipation », au profit de laquelle les capacités spatiales apportent une contribution très substantielle. Le secteur spatial est présenté comme crucial pour l'autonomie d'appréciation et la précision des armes. Ainsi, la loi de programmation militaire pour les années 2019 à 2025 a prévu le renouvellement des capacités spatiales développées sous l'empire des précédentes programmations.

#### **• *Les capacités actuelles***

Les armées bénéficient aujourd'hui des capacités de onze satellites :

– deux satellites d'observation optique Hélios, cette capacité ayant été développée en coopération avec l'Allemagne, l'Italie, l'Espagne, la Belgique et la Grèce, et se trouvant aujourd'hui « *en fin de vie* » ;

– deux satellites d'observation optique Pléiades, développés par le CNES en partenariat avec Airbus et d'emploi dual ;

– un accès de droit aux satellites d'imagerie radar SAR Lupe (allemands) et COSMO–SkyMed (italiens), en orbite basse ;

– une « *petite constellation d'écoute en orbite basse* », Elisa ;

– deux satellites de télécommunication Syracuse 3, en orbite géostationnaire ;

– un autre satellite dual de télécommunications également placé en orbite géostationnaire : Athena Fidus, partagé avec l'Italie ;

– un accès de droit aux capacités du satellite militaire italien de télécommunication Syrcal 2 qui emporte une charge utile française, ainsi qu'à des capacités privées utilisées sur la base d'un contrat commercial appelé « Astel S ».

Les armées ont aussi accès au service américain GPS avec le niveau de précision militaire, et auront accès au signal à accès réglementé de Galileo.

Le commandant interarmées de l'espace a expliqué que ces capacités s'organisent ainsi comme **en cercles concentriques, dans lesquels on distingue :**

- **un « cœur souverain »**, avec les satellites Hélios et Syracuse ;
- **un « noyau élargi »** développé et exploité en coopération ;
- **un « noyau étendu »**, pour des applications dont le niveau de criticité n'est pas incompatible avec une ouverture au secteur commercial.

- *Les programmes en cours*

La loi de programmation militaire pour les années 2019-2025 prévoit que sera mise en service, d'ici 2025, une nouvelle génération de systèmes orbitaux.

Ainsi, en matière de renseignement optique, le programme de « **composante spatiale optique** » (CSO) est en cours. M. Jean-Yves Le Gall, président du CNES, a expliqué qu'« *il s'agit de merveilles technologiques* ». Ces satellites pèsent moins de quatre tonnes et possèdent, selon le président du CNES, des performances comparables à celles des satellites américains de douze tonnes. Les opérateurs du centre de contrôle des satellites du CNES ont souligné que l'architecture du système CSO a été conçue de façon à ce que les engins soient particulièrement aisés à manœuvrer, comme le système Pléiades qui, lui-même, avait des capacités d'orientation rapide et agile des satellites constituant « *un net progrès opérationnel par rapport au système Hélios* ». Le premier des trois satellites CSO a été lancé de Kourou en décembre 2018. Deux de ces trois engins seront placés à une orbite de 800 kilomètres d'altitude et le troisième à une orbite de 480 kilomètres. Doté de capteurs optiques classiques comme infrarouges, le système CSO sera utile de jour comme de nuit, pendant les dix ans de sa durée de service estimée.

De même, en matière de renseignement électromagnétique, la loi de programmation militaire a pourvu à la poursuite du programme de « **capacité d'écoute et de renseignement électromagnétique spatiale** » (Ceres). Ces satellites, selon M. Jean-Yves Le Gall, présentent « *une compacité remarquable* » ; lancés par une fusée légère Vega, ils permettront de recueillir de précieux renseignements d'origine électromagnétique.

La loi de programmation militaire prévoit en outre que trois nouveaux satellites de télécommunications militaires **Syracuse 4** viendront remplacer les satellites Syracuse 3.



Par ailleurs, plusieurs autres programmes sont en cours, parmi lesquels on citera par exemple le **programme CO3D** qui, dans la lignée des clichés stéréoscopiques de Pléiades, vise à prouver, à travers un démonstrateur, la faisabilité d'un système à bas coût de production d'un **modèle numérique de surface**, susceptible de couvrir l'intégralité du globe terrestre avec une résolution « de qualité », au moyen d'une constellation de satellites d'observation optique et d'outils de traitement automatisé de masses de données. Comme l'a expliqué Mme Marie-Anne Clair, directrice des systèmes orbitaux du centre spatial de Toulouse du CNES, le système CO3D permettra, en une année seulement, de modéliser en trois dimensions une zone comme l'« arc de crises » – au sens du Livre blanc de 2008 –, soit bien plus rapidement qu'avec les moyens actuels. L'intérêt, pour les armées, consiste à disposer de modèles récents de leurs zones d'opération ; pour le secteur civil, une telle technologie aurait des applications très variées, par exemple dans la gestion des risques naturels ou dans la recherche scientifique sur notre planète. Le CNES consacra au programme CO3D une centaine de millions d'euros et environ 200 personnels. La gouvernance de ce programme est originale, reposant sur une association public-privé ; en effet, l'État y contribue par un financement direct qui lui vaudra des droits d'utilisation du système pour des applications civiles ou militaires, tandis que les industriels en prennent une part financière au moins égale à celle de l'État en vue d'applications commerciales. Selon le CNES, cette gouvernance est « *inspirée du New Space* », c'est-à-dire des pratiques américaines les plus actuelles.

Autre exemple de programme en cours : le **programme Castor**, qui vise à préparer d'ores et déjà le remplacement des satellites Syracuse 4 à l'horizon 2028. Son objectif consiste à accroître encore « *d'un facteur 10 environ* » **la flexibilité, la mobilité et le débit** des satellites de télécommunications Syracuse 3. Ce projet est dual ; en témoigne son financement, par le programme 191 « Recherche duale (militaire et civile) » et le programme 144 « Environnement et prospective de la politique de défense », pour respectivement 65 millions d'euros et 80 millions d'euros. Ce projet, selon les explications de Mme Marie-Anne Clair, illustre une double tendance à l'œuvre dans les programmes spatiaux :

– un **raccourcissement des cycles technologiques**, qui voient les générations d'équipements se succéder à un rythme plus soutenu qu'auparavant ;

– un **accroissement des investissements nécessaires** pour passer les jalons technologiques.

La flexibilité dans l'orientation des charges utiles et de leur signal, que permettent les progrès en cours dans le domaine des processeurs numériques, « *répond au besoin des forces* », qui devront pouvoir utiliser les faisceaux de leurs moyens satellitaires d'un théâtre à un autre avec le même satellite géostationnaire. Ces capacités auront d'ailleurs des applications civiles importantes, par exemple pour offrir un accès à internet à haut débit aux avions. Les représentants d'Airbus ont indiqué, à titre d'exemple, qu'un satellite « à charge utile totalement flexible »,

financé par l'Agence spatiale européenne pour le compte de l'opérateur Eutelsat, est en cours de construction.

***b. Une chaîne de commandement et de contrôle des opérations spatiales***

Les armées disposent d'ores et déjà, pour l'emploi de leurs moyens spatiaux, d'une chaîne de *Command and Control* (C2) – appellation commune des fonctions de commandement et de contrôle des opérations dans la nomenclature des états-majors établie par l'OTAN. Cette chaîne est certes relativement peu développée ; néanmoins, elle est complète et s'adosse sur des moyens de surveillance de l'espace dont la possession revêt de cruciaux enjeux de souveraineté.

- i. Une chaîne peu étoffée mais cohérente de commandement et de contrôle

La chaîne de commandement et de contrôle est organisée autour du **commandement interarmées de l'espace**, créé en 2010 à la suite du Livre blanc de 2008 sur la défense et la sécurité nationale.

- *Le commandement interarmées de l'espace*

**Organisme interarmées** placé sous la tutelle du sous-chef d'état-major des armées commandant la division des opérations, ce commandement est investi de deux missions principales :

– l'élaboration de la politique spatiale militaire, c'est-à-dire **l'identification des besoins** des armées, la participation aux **coopérations internationales** pour le compte de l'état-major des armées et le **conseil aux autorités** du ministère en matière spatiale ;

– la mise en œuvre de cette politique, c'est-à-dire **l'expression des besoins** capacitaires en amont des programmes d'équipement, la **participation au suivi** de ceux-ci, le **commandement des moyens spatiaux militaires** et la participation à la **maîtrise de l'environnement spatial**, ce qui consiste à collecter toutes informations pertinentes concernant la situation spatiale et à proposer des décisions au chef d'état-major des armées.

Par ailleurs, le général Michel Friedling a ajouté que le commandement interarmées de l'espace est le seul organisme du ministère des Armées qui possède ès-qualités des **compétences juridiques en matière spatiale**. À ce titre, c'est au commandement interarmées de l'espace qu'il incombe donc de représenter le ministère des Armées dans le cadre des travaux internationaux relatifs au droit de l'espace.

Le secteur spatial militaire intéressant différents acteurs, le commandement interarmées de l'espace s'attache à les coordonner. Au nombre de ceux-ci, le général Michel Friedling a cité notamment l'armée de l'air – avec le

centre opérationnel de surveillance militaire des objets spatiaux (COSMOS) et le centre militaire d'observation par satellites (CMOS) –, la direction du renseignement militaire (DRM) et la direction interarmées des réseaux d'infrastructure et des systèmes d'information de la défense (DIRISI). Le commandement interarmées de l'espace est également en lien avec le Quai d'Orsay, le CNES, les industriels du secteur spatial et les partenaires étrangers de la France dans ce domaine.

Il compte **40 personnels**, dont 26 à Paris et 14 au sein d'une « équipe de marque » à Creil, chargée d'assurer l'intégration des capacités. Il est basé au sein du pôle « opérations » de Balard, près du centre de planification et de conduite des opérations. La nouvelle programmation militaire prévoit **cinq effectifs supplémentaires** pour ce commandement. En tout, **au sein des armées, le secteur spatial ne compte que 290 personnels**, effectif dont le commandant interarmées de l'espace a souligné la modestie.

- *La chaîne de commandement et de contrôle des moyens spatiaux militaires*

Sous l'autorité du commandement interarmées de l'espace, la chaîne de commandement des moyens spatiaux de défense s'articule, comme l'a expliqué le général Michel Friedling, en deux « étages » :

– à l'« *étage haut* » se trouve le **centre d'opérations spatiales de Balard**, qui est chargé de l'établissement des points de situation spatiale présentés au chef d'état-major des armées. Il s'agit « *d'un outil développé par le CIE* », destiné à être pérennisé et amélioré grâce aux crédits de soutien à l'innovation. Il constitue ainsi « *une brique du système de Command and Control (C2) spatial* » ;

– à l'« *étage bas* », se situe le **centre opérationnel de surveillance militaire des objets spatiaux**, qui est chargé d'assurer la surveillance de l'espace à l'aide de différents capteurs.

Par ailleurs, le **centre national de mise en œuvre des moyens satellitaires** (CNMO-MS) de la DIRISI est responsable de la planification, de la supervision et de l'exploitation des réseaux satellitaires de communication Syracuse, Athena Fidus et Sicral.

En outre, le **centre militaire d'observation par satellite**, situé sur la base aérienne de Creil, regroupe les moyens de mise en œuvre de l'observation spatiale militaire française et en assure le contrôle opérationnel par délégation du commandant interarmées de l'espace. Il relève du commandement des forces aériennes et reçoit ses directives opérationnelles de la direction du renseignement militaire. Il gère l'ensemble des segments sols des satellites exploités : cinq satellites allemands SAR-Lupe, quatre satellites italiens Cosmo-Skymed, trois satellites français Hélios et deux satellites duaux français Pléiades. Il acquiert également de l'imagerie commerciale.

## ii. Des moyens souverains de surveillance de l'espace

La France fait partie des rares puissances à être capables d'établir une « **situation spatiale** » au moins partielle, c'est-à-dire un état des lieux de l'espace à un moment donné. À tous égards, toute capacité cohérente et significative de défense spatiale crédible repose sur une capacité de surveillance de l'espace. On précisera que la surveillance de l'espace produit une « situation spatiale » consolidée et renseignée, qui n'est qu'un élément de la « connaissance de l'espace » – plus communément désignée sous son appellation anglaise de *Space Situation Awareness*. Cette connaissance regroupe en réalité tous les éléments dont l'autorité de commandement opérationnel a besoin pour former sa décision, c'est-à-dire non seulement la « situation spatiale » – globale ou partielle, c'est-à-dire limitée à ses centres d'intérêt –, mais aussi d'autres informations telles que la disponibilité ou l'accessibilité des capteurs, l'analyse de la menace, l'analyse des risques, ou le renseignement sur les intentions adverses dans le milieu.

Cette capacité repose sur deux moyens indissociables : d'une part, des moyens d'observation de l'espace et, d'autre part, des catalogues des objets spatiaux. Elle consiste à articuler plusieurs opérations :

- la **détection** des objets ;
- la définition de leur **trajectoire** ;
- l'identification de leurs **buts opérationnels**.

- *Le COSMOS*

Le lieutenant-colonel Thierry Cattaneo, commandant le COSMOS, a expliqué les missions du centre en le présentant comme « *le centre de Command and Control de la surveillance de l'espace* ». Ces fonctions de commandement et de contrôle – dites « de C2 » – consistent à :

– « *transformer une masse de données issue des systèmes français ou étrangers de détection en une véritable situation spatiale* » ;

– exploiter cette « situation spatiale » pour fournir aux échelons de commandement des trois armées qui en ont besoin une **aide à la décision opérationnelle** ;

– apporter son **concours au CNES pour l'opération des satellites de la défense**. En effet, le CNES est l'opérateur des satellites des armées en orbite basse et, à ce titre, en commande et en opère les manœuvres. Mais en cas de risque de collision, le COSMOS active et oriente ses capteurs de poursuite afin de permettre au CNES de mieux connaître la trajectoire des objets concernés, notamment s'agissant de trajectoires potentiellement conflictuelles ;

– identifier les **cas de rentrée atmosphérique à risque**. À ce titre, le COSMOS fournit une carte prévisionnelle de la rentrée, établie avec l'appui du CNES, au centre opérationnel de gestion interministérielle des crises (COGIC) du ministère de l'Intérieur, qui a la charge de transmettre l'alerte aux services de l'État et aux populations. Dans ce type d'opérations, le COSMOS est *leader*. Le COSMOS concourt ainsi, dans le champ de l'espace, à la mission de « défense aérienne » définie par l'article D. 1441-1 du code de la défense. De façon cohérente avec cette mission, il participe à la **préservation des moyens spatiaux français**, dont l'intégrité est d'autant plus cruciale que les équipements concernés sont coûteux, en nombre réduit, difficiles à remplacer et à réparer.

Comme les rapporteurs ont pu le constater lors de leur déplacement au COSMOS, implanté au sein de la base aérienne 942 de Mont-Verdun, l'équipe du centre est encore très réduite, comptant une trentaine de personnels.

- *Les moyens opérés par le COSMOS*

Les rapporteurs se sont attachés à étudier en détail les moyens techniques de surveillance de l'espace qu'opère le COSMOS, pour le compte des armées. Ces moyens reposent principalement sur :

- un radar de détection et des radars de trajectographie de l'armée de l'air pour la surveillance des orbites basses ;

- les télescopes TAROT du CNRS, sur lesquels le CNES possède un droit de tirage, ainsi que les services acquis auprès d'Ariane Group, qui a développé son propre système de télescopes sous le nom de Geotracker ;

- des moyens encore limités d'analyse des données.

Ainsi, c'est d'abord sur un radar, le **système de grand réseau adapté à la veille spatiale (GRAVES)**, que reposent à titre principal les capacités françaises de surveillance de l'espace. Le lieutenant-colonel Thierry Cattaneo a présenté l'intérêt et expliqué le fonctionnement, que présente l'encadré ci-après.

#### LE FONCTIONNEMENT DU SYSTÈME DE GRAND RÉSEAU ADAPTÉ À LA VEILLE SPATIALE (GRAVES)

Selon les explications de M. Bruno Sainjon, président-directeur général de l'Office national d'études et de recherches aérospatiales, c'est l'ONERA qui a développé les concepts et les principes du système GRAVES, mais faute d'industriel intéressé par cet objet sans précédent ni équivalent, c'est aussi l'ONERA qui a développé GRAVES à titre de **démonstrateur**. Il n'aura coûté que 30 millions d'euros environ.

Le système GRAVES est basé sur un radar de veille combiné à des traitements de pistage, de catalogage et d'analyse, devenu opérationnel en 2005, et qui permet aux armées de disposer d'un **outil d'élaboration et de tenue autonome de la situation spatiale en orbite basse sur les objets de la gamme du mini-satellite** jusqu'à 1 000 km d'altitude.

Le radar repose sur l'articulation de deux segments principaux :

– un « *site émission* », près de Dijon, qui lance un signal ayant un large champ de radio-détection ;

– un « *site réception* », sur le plateau d'Albion, qui capte le retour du signal dans certains champs de recherche physique et gammes de fréquences prédéfinis.

M. Bruno Sainjon a souligné que **détecter une fois un objet ne permet pas de le cataloguer, car il faut pour cela le détecter souvent et régulièrement**. Il a indiqué que le système GRAVES assure non seulement la détection des objets, mais aussi leur **catalogage**. Il dispose à cette fin d'une fonction de veille et de traitement des données ; il n'a besoin d'aucune information extérieure pour la trajectographie et pour la création d'un catalogue orbital. Des éléments extérieurs ne lui sont nécessaires que pour l'**identification** des objets catalogués. Les opérateurs du COSMOS ont précisé que l'exploitation des signaux est opérée sur le site de Lyon suivant une « *logique d'association* », c'est à dire qu'une fois un objet détecté, le système compare sa position et sa vitesse à la trajectoire prévisible des objets détectés précédemment et, point par point, reconstitue ainsi le parcours du satellite, comme les rapporteurs ont pu le constater.

Par une maladresse regrettable au regard de l'impératif de confidentialité qui s'attache aux capacités et au fonctionnement du système GRAVES, des radio-amateurs ont réussi à capter la fréquence d'émission des signaux de ce radar. L'atteinte est néanmoins limitée parce que les champs dans lesquels est capté le retour du signal n'ont pas été rendus publics et que, pour remonter les pistes suivies par GRAVES, il faudrait disposer de la synchronisation GPS et de la cohérence de balayage en réception.

Ensuite, de façon complémentaire aux mesures du système GRAVES, l'armée de l'air opère trois radars de trajectographie appelés **SATAM** – pour système automatique de trajectographie des avions et munitions<sup>(1)</sup> – qui permettent de suivre la trajectoire d'un objet en orbite basse avec encore davantage de précision que le système GRAVES. Les rapporteurs se sont fait présenter les mesures ainsi obtenues par les systèmes GRAVES et par SATAM, dont les niveaux de précision ne peuvent être rendus publics. En revanche, les radars SATAM ne permettent pas de suivre un aussi grand nombre d'objets que le système GRAVES.

Les radars SATAM sont donc utilisés en complément du système GRAVES pour :

– affiner l'évaluation d'un risque de collision détecté par le système GRAVES et, si le risque est avéré, minimiser l'ampleur des manœuvres d'évitement, afin de préserver les ressources énergétiques des satellites ;

– trajectographier les objets en phase orbitale proche de la rentrée, à des fins de connaissance de la trajectoire dans un domaine où les logiques de traitement du GRAVES ne s'appliquent plus.

---

(1) *Modèle commercial BAé RIR 980, le SATAM est en fait un radar de poursuite en ciel profond, qu'il est possible d'employer au suivi des objets balistiques. Le lieutenant-colonel Cattaneo a diligenté une étude qui visait à remettre ce système dans son concept d'emploi initial, ce qui a abouti en 2010, à l'issue une campagne d'essais montrant l'adaptation de ce système à la mission de trajectographie fine des objets spatiaux dans un domaine de recherche identique à celui du GRAVES. La donnée d'orientation nécessaire au pointage initial des SATAM est une donnée de sortie du système GRAVES.*

Par ailleurs, pour la surveillance des orbites basses, le COSMOS a recours aux informations transmises par le CNES ainsi qu'aux services d'Ariane Group. Les représentants d'Airbus Defence & Space ont souligné que l'usage des télescopes suppose que soient réunies des conditions particulières d'éclairement et de nébulosité.

Enfin, le COSMOS utilise des **moyens de traitement et d'analyse des données** que les rapporteurs se sont fait présenter en détail. Il en ressort que ces moyens ont, pour la plupart d'entre eux, été développés « en interne » par les opérateurs du COSMOS, après que le centre a essayé sans succès de s'appuyer sur les autres moyens de développement de l'armée de l'air ainsi que sur l'industrie. Le lieutenant-colonel Thierry Cattaneo a précisé qu'une première version d'un système d'information spatial (SIS) a été refusée et que les premiers tests de la seconde version ne permettaient pas d'être exagérément optimiste sur le succès de ce marché. Aussi la plupart des développements ont-ils été soutenus par la mission « innovation participative » (MIP) de la DGA. Le lieutenant-colonel Thierry Cattaneo a fait valoir que si ces développements réussis sont à mettre au crédit des opérateurs du COSMOS, ils appellent cependant deux observations :

– ils n'en font pas moins peser une lourde charge sur ces opérateurs, déjà en sous-effectifs ;

– la fourniture de tels systèmes devrait relever d'autres organes du ministère des Armées qu'un centre ayant avant tout un caractère opérationnel.

Le président du CNES a ajouté que les infrastructures spatiales françaises sont **largement souveraines, grâce aux outre-mer**. Certes, une station de réception du CNES est installée en Suède, mais M. Jean-Yves Le Gall a fait que cet État est membre de l'Union européenne, que « *des garanties ont été données en termes de protection et de sûreté de cette installation* » et que la perte éventuelle de station « *demeurerait gérable sur le plan opérationnel* ». M. Jean-Yves Le Gall a précisé que les Américains et les Chinois ont fait pour leur part le choix d'une approche totalement autonome. Ils utilisent un système de relais en orbite en lieu et place d'un réseau terrestre de stations de télécommande et de télémétrie. Il s'agit d'un système où des satellites géostationnaires jouent un rôle de relais entre des satellites en orbite basse et des stations situées exclusivement sur les territoires américain et chinois. Au prix d'un investissement important, d'une complexité et d'une certaine vulnérabilité, les États-Unis et la Chine font par ce biais l'économie d'un réseau mondial de stations sol de télécommande et de télémétrie, ce qui leur offre une autonomie complète dans le contrôle de leurs plateformes orbitales.

- *Ces moyens ont un intérêt souverain majeur*

Ce sont **d'impérieuses raisons d'autonomie stratégique** qui ont conduit à développer le système GRAVES. En effet, en 1996, lorsque le satellite Cerise a brusquement cessé de fonctionner, la France ne disposait d'aucune capacité

autonome de surveillance de l'espace ; elle a donc dû s'en remettre aux analyses d'autres puissances pour comprendre cet incident – analyses qui n'étaient d'ailleurs pas totalement convergentes. En tout état de cause, cela a mis en lumière l'intérêt qu'a la France à disposer d'un système autonome de surveillance de l'espace.

Les premières exploitations du système GRAVES ont largement confirmé l'intérêt de cet équipement pour l'autonomie stratégique. En effet, mis en service opérationnel en 2005, il a été utilisé pendant deux ans pour vérifier l'exactitude et l'exhaustivité du catalogue des objets spatiaux rendu public par les États-Unis. Et, selon le lieutenant-colonel Thierry Cattaneo, « **GRAVES a ainsi détecté beaucoup plus d'objets hors catalogue américain que l'on ne le prévoyait...** » ; il s'agissait très majoritairement d'objets spatiaux américains dont l'existence ou la position étaient tues. C'est ainsi que **la possession de GRAVES a permis à la France de retrouver avec les États-Unis les conditions d'un dialogue plus équilibré**, à l'issue duquel :

– la France s'est abstenue de révéler les activités spatiales secrètes des États-Unis ;

– en contrepartie, les États-Unis ont cessé de « *publier très précisément* » la position des satellites français, ce qui avait le considérable inconvénient opérationnel de permettre à l'ennemi de savoir à quel moment précis il risquait d'être observé par nos satellites.

De plus, la possession souveraine du système GRAVES permet au COSMOS de suivre non seulement les **points spatiaux d'intérêt signalés par l'ordre de bataille spatial** de la direction du renseignement militaire, mais aussi certains objets spécifiques, qu'il s'agisse de **satellites inconnus** ou « *inconnus avérés* » – c'est-à-dire des capacités non signalées dans les références publiques – entre 400 kilomètres et 1 000 kilomètres d'altitude. De plus, les opérateurs du centre d'orbitographie opérationnelle du centre spatial de Toulouse ont expliqué aux rapporteurs que leurs moyens d'observation optique permettent, pour le cas où certaines données du radar GRAVES ne sont pas parfaitement concordantes avec celles fournies par les Américains, de **corriger certaines informations erronées ou imprécises du catalogue public des objets spatiaux fourni par les États-Unis**, qui comporte des marges d'imprécision suffisantes pour, parfois, masquer l'existence de certains satellites.

Ainsi, comme l'ont souligné les cadres du CNES rencontrés au centre spatial de Toulouse, **loin d'être redondants, moyens français et moyens américains sont profondément complémentaires**, non seulement parce que sans moyens de contre-expertise, la France pourrait se laisser abuser par certaines approximations du catalogue américain, mais aussi parce que c'est la possession de moyens d'observation souverains qui a permis à la France d'établir avec les États-Unis un dialogue équilibré. **La possession de capacités d'observation spatiale et de tenue de catalogue revêt ainsi un grand enjeu de souveraineté.**



De surcroît, au-delà du champ de compétence défini par le *Outer Space Treaty* de 1967<sup>(1)</sup>, qui fixe les règles de droit international concernant la surveillance des objets ayant effectué un tour complet de la Terre, le système GRAVES permet au COSMOS de disposer d'une « **bricole utile à la surveillance de certains objets balistiques** », dont l'utilité a d'ailleurs été démontrée lors d'un événement impliquant la Corée du Nord.

## **2. L'organisation de notre secteur spatial de défense exploite au mieux les synergies résultant de la dualité des technologies spatiales**

Ce sont le rôle et l'organisation du CNES, organisme investi à la fois de missions civiles et militaires, qui illustrent le mieux la logique profondément duale du secteur spatial de défense français.

M. Jean-Yves Le Gall a expliqué que, depuis sa création en 1961, le CNES apporte au ministère des Armées un concours dont la plus-value résulte, d'une part, de **l'exploitation de la dimension duale de certains de ses moyens opérationnels** et, d'autre part, de la mise à disposition de **compétences rares**. Ces moyens opérationnels sont de trois natures : un centre de lancement en Guyane, un réseau de stations de télécommande et de télémesure de satellites et, enfin, des moyens optiques de surveillance de l'espace. Quant aux compétences rares mises à la disposition des Armées par le CNES, elles jouent un rôle central dans trois domaines du volet spatial de notre politique de défense : la préparation de l'avenir, la conduite de programmes et le contrôle des satellites militaires en orbite basse.

En outre, les rapporteurs ont pu constater que l'organisation même du CNES est inspirée par cette logique de dualité. En effet, en son sein, les mêmes moyens opérationnels et les mêmes compétences concourent aux missions civiles et aux missions militaires ; contrairement à ce qui existe par exemple au Commissariat à l'énergie atomique, **le CNES n'a pas isolé au sein d'une direction des applications militaires ses moyens mis au service des Armées**.

Comme l'a fait valoir le général Philippe Lavigne, chef d'état-major de l'armée de l'air, c'est « *une excellente spécificité française que d'avoir toujours approfondi la dualité des développements* » dans tous les secteurs, qu'il s'agisse des lanceurs – les lanceurs civils et les fusées utiles à la dissuasion ayant de nombreux points communs – ou des objets orbitaux, par exemple pour les télécommunications ou l'observation spatiale.

---

(1) *Traité sur les principes régissant les activités des États en matière d'exploration et d'utilisation de l'espace extra-atmosphérique, y compris la Lune et les autres corps célestes.*

**a. Une chaîne de commandement et de contrôle qui repose en partie sur les compétences duales du CNES**

i. Les moyens du CNES mis au service des armées

La mise en œuvre des moyens spatiaux des armées repose notamment sur les moyens opérationnels suivants appartenant au CNES :

– le **centre spatial guyanais (CSG)** à Kourou, élément essentiel d'un accès autonome à l'espace que M. Jean-Yves Le Gall a décrit à ce titre comme un « *un actif majeur pour l'Europe* », qui permet de lancer des satellites militaires depuis une position géographique « *très intéressante en termes de performances dans le respect des règles de protection du secret* » et en s'affranchissant de toute contrainte liée à l'exportation. Ce centre a bénéficié depuis sa création en 1964 des investissements du CNES et celui-ci y est chargé de la fonction « sauvegarde », garant de la sécurité de l'ensemble des opérations et de la coordination générale de la préparation des satellites et des lancements. Le CNES est également l'autorité de conception de tous les moyens du site et assure sa gestion financière et technique ;

– des **moyens optiques de surveillance de l'espace**, télescopes qui permettent de surveiller les orbites hautes en complément des radars dont disposent les armées pour observer les orbites basses. Le CNES apporte cette contribution au travers d'un droit de tirage sur les télescopes TAROT du CNRS. À la demande de la défense, le CNES suit certains objets en orbite. Ce fut en particulier le cas en 2015 et 2017 du satellite russe Luch-Olympe, dont la proximité avec certains satellites a été détectée et analysée par le CNES. Les opérateurs du CNES ont d'ailleurs fait valoir que c'est le centre d'orbitographie opérationnelle qui a détecté les manœuvres du satellite russe Luch-Olymp autour du satellite franco-italien Athéna-Fidus – quand bien même Ariane Group a pris l'initiative d'une communication publique sur le sujet ;

– un réseau de **stations de télécommande et de télémétrie de satellites** au travers duquel le CNES assure le contrôle des satellites militaires évoluant en orbite basse (Hélios, Elisa et bientôt CSO et Ceres). M. Jean-Yves Le Gall a précisé que le contrôle des engins en orbite basse est très différent de celui des satellites géostationnaires : c'est un exercice technique complexe que d'organiser la transmission de données avec un satellite défilant qui se déplace à 27 000 kilomètres par heure.

ii. Le pilotage des satellites

Ainsi, ce sont de longue date **les équipes du CNES qui contrôlent et opèrent depuis Toulouse les satellites militaires et duaux en orbite basse** – satellites d'observation optique et de renseignement électromagnétique. Le contrôle de ces satellites s'accompagne de contraintes spécifiques, plus exigeantes en matière de compétences et de ressources humaines que le contrôle des satellites en orbite géostationnaire. Or, à ce stade, le ministère des Armées ne dispose en

son sein ni des moyens techniques, ni des compétences nécessaires pour réaliser cette mission. En pratique, les opérateurs du CNES transmettent aux satellites à la fois les données nécessaires à leur maintien en orbite en toute sécurité et les plans de missions élaborés par la direction du renseignement militaire.

Certes, certains États ont choisi des organisations différentes, en faisant piloter leurs satellites directement par les opérateurs de ceux-ci. Pour M. Jean-Yves Le Gall, au contraire, contrôler ensemble tous les satellites faisant appel aux mêmes technologies permet d'optimiser l'emploi des compétences rares que requiert leur pilotage.

Les rapporteurs se sont fait présenter par leurs opérateurs les moyens de pilotage des satellites mis en œuvre par le CNES au centre spatial de Toulouse. L'encadré ci-après présente le fonctionnement de ce centre de programmation, de commande et de contrôle des satellites en orbite basse.

#### **LE CENTRE DE PROGRAMMATION, DE COMMANDE ET DE CONTRÔLE DU CENTRE SPATIAL DE TOULOUSE**

● **Le centre de programmation, de commande et de contrôle** du centre spatial de Toulouse opère différents satellites pour différents utilisateurs. Il a deux missions principales :

- la gestion des orbites de ceux-ci, notamment pour éviter les collisions ;
- la programmation de prises de vues par les satellites d'observation.

Pour la défense, les centres du CNES opèrent notamment les satellites Hélios et Elisa et se prépare à opérer les satellites Ceres et CSO. **Les moyens du CNES sont ainsi mutualisés entre plusieurs utilisateurs**, ce qui constitue une organisation originale par rapport au système américain, où chaque utilisateur de systèmes satellitaires – les armées, la NASA, les agences de renseignement, etc. – pilote ses engins de façon bien plus cloisonnée.

● Les rapporteurs se sont fait présenter, à titre d'exemple, la procédure d'opération des satellites CSO, qui leur a été décrite de la façon suivante :

– **les armées formulent leurs demandes d'images** sous forme de « listes d'acquisition » établies par les opérateurs du « segment sol utilisateur » placé au sein du centre militaire d'observation par satellites, organisme à vocation interarmées confié à l'armée de l'air et implanté sur la base aérienne de Creil, près de la direction du renseignement militaire ;

– le **centre d'expertise en qualité d'image** du centre spatial de Toulouse apporte son appui à la définition des opérations techniques nécessaires pour répondre aux besoins exprimés par le CMOS ;

– le **centre de programmation, de commande et de contrôle CSO** du CNES décline les listes d'acquisition du CMOS en messages informatiques de programmation ;

– ce message est transmis au satellite concerné par un **centre d'opération** situé au bâtiment Fermat, afin que le satellite opère les manœuvres et prises d'images souhaitées ;

– les images prises par les satellites sont transmises par la télémesure et reçues, au sol, par des stations de réception du CNES en France et à l'étranger (par exemple à Kiruna, en Suède). Contrairement aux satellites en orbite géostationnaire, les satellites en orbite

basse se déplacent autour de la Terre et, au gré de leurs déplacements, ne sont en mesure d'entrer en communication avec une station au sol que pendant une dizaine de minutes ;

– depuis les stations de réception, les images prises par les satellites sont **transmises directement au CMOS à Creil**, et non au CNES, celui-ci recevant en revanche les télémesures nécessaires au suivi de l'état du satellite en vue de son éventuel maintien en condition opérationnel, ainsi que quelques images lui permettant de « calibrer » régulièrement l'instrument de prise de vues.

Parallèlement, le **centre d'orbitographie opérationnelle** du centre spatial de Toulouse reçoit les alertes de risques de collision et, le cas échéant, demande des manœuvres d'évitement, qu'opèrent le centre de programmation, de commande et de contrôle et le centre d'opération. En effet, à la différence par exemple des couloirs de trafic aérien ou des fréquences, les orbites spatiales ne font pas l'objet d'une réglementation ou d'une police stricte, ce qui ne permet pas d'exclure des risques de collision. Une collision a d'ailleurs déjà été observée entre deux satellites russe et américain en 2009.

### iii. Un concours à la surveillance de l'espace

Les opérateurs du centre d'orbitographie opérationnelle du centre spatial de Toulouse ont expliqué aux rapporteurs qu'ils ont pour mission non seulement de soutenir le centre d'opération, mais aussi de concourir à la **surveillance de l'espace** afin de gérer les risques de collision intéressant une centaine de satellites, dont onze appartenant aux armées. Les orbites spatiales recèlent en effet 23 000 objets de plus de sept centimètres de diamètre, dont 95 % de débris, pour l'essentiel dans les orbites basses. La surveillance des risques de collision constitue donc un enjeu majeur.

Pour ce faire, le centre d'orbitographie opérationnelle reçoit des informations de plusieurs sources :

– depuis 2009, le *Combined Space Operations Center* (CSPOC) du *Department of Defense* américain, anciennement appelé *Joint Space Operations Center* (JSPOC), fournit gratuitement des messages d'alertes aux agences spatiales sur les risques de collision encourus par les engins spatiaux répertoriés dans son catalogue public ;

– pour l'observation des orbites basses, le **COSMOS** de Mont-Verdun, en lien direct avec le centre d'orbitographie opérationnelle (*via* des liaisons sécurisées), fournit à celui-ci des informations complémentaires produites par les systèmes GRAVES et SATAM, notamment pour ce qui concerne les objets spatiaux exclus du catalogue public américain ;

– pour l'observation des orbites géostationnaires, le CNES dispose d'un droit d'usage des télescopes **TAROT** du CNRS situés au Chili, dans le sud de la métropole et à la Réunion.

Les opérateurs du centre d'orbitographie opérationnelle ont ainsi reçu, en 2017, 2,5 millions de messages d'alertes relatives à 60 000 conjonctions de trajectoires, ont trié ces informations en fonction de leur intérêt pour les

102 satellites suivis et d'une évaluation de la dangerosité des conjonctions signalées, conduit « *quelques centaines* » d'expertises, demandé au COSMOS des mesures complémentaires sur 19 conjonctions et recommandé 14 manœuvres d'évitement et deux manœuvres de maintien à poste. Le risque de collision est ainsi apprécié avec un degré élevé de sensibilité. Le recueil et le traitement de cette **information** « *surabondante* » constituent un « *service public aujourd'hui gratuit* », assuré 24 heures sur 24 et sept jours sur sept.

***b. Un écosystème dual de recherche, d'industrie et de conduite des programmes de systèmes orbitaux de défense***

Comme l'a fait valoir M. Jean-Jacques Dordain, en réalité, la différence entre un satellite civil et un satellite militaire « *tient aux sources de financement et à l'identité de l'utilisateur, mais pas davantage* ». C'est la dualité des technologies en jeu qui explique que l'industrie de défense, en matière spatiale, soit parfaitement duale et qu'un modèle *ad hoc* ait été retenu pour la conduite des programmes.

i. Un rôle important du CNES en appui de la direction générale de l'armement

• *Pour la conduite des programmes*

Depuis plus de trente ans, **la défense a fait le choix de ne pas développer en interne une capacité d'expertise pour sa mission de conduite des programmes de systèmes orbitaux de défense et de s'appuyer pour ce faire sur le CNES**. Celui-ci dispose de toutes les compétences nécessaires à la définition, à la conception, au développement et aux opérations d'un système orbital, quel qu'en soit le domaine d'application, civil ou militaire. Ainsi, le CNES met à la disposition des armées une solide expertise en matière d'approche système, la maîtrise d'œuvre des programmes militaires relevant de l'industrie.

Le CNES intervient ainsi en tant que **maître d'ouvrage délégué des segments spatiaux des programmes militaires d'observation optique** – comme, par exemple, pour le programme CSO. Dans ce type de programmes, particulièrement novateurs et risqués, le CNES conduit toutefois quelques tâches de maîtrise d'œuvre au niveau de l'intégration du système global – par exemple pour conserver la maîtrise des équilibres entre les éléments de performance à introduire sur la plateforme ou au sol – et contractualise, en tant que maître d'ouvrage, la plupart des composantes du système – les satellites, les segments sol de commandement et de contrôle, ainsi que le lancement. Ce fut le cas dans le passé avec le programme Hélios et c'est actuellement le cas avec le programme CSO. L'expertise acquise par le CNES grâce au programme civil Spot dès les années 80 a joué en faveur de ce mode de fonctionnement dans la gestion des programmes d'observation spatiale optique, dont la dimension duale est évidente et pour lesquels des innovations importantes sont nécessaires entre deux générations de systèmes. M. Jean-Yves Le Gall a fait valoir l'**économie de**

**moyens, la meilleure gestion des risques** et l'effet de **consolidation de la filière industrielle** concernée que permet cette organisation. Le CNES a par ailleurs conçu, contractualisé et intégré, le système dual Pléiades, dont il est propriétaire et pour lequel la défense dispose d'un droit d'accès prioritaire.

S'agissant des autres programmes de satellites, le CNES apporte son expertise technique à la DGA, maître d'ouvrage des programmes de satellites de renseignement électromagnétique Ceres et de télécommunication Syracuse 4. À cette fin, des **équipes de programme intégrées DGA-CNES** ont été mises en place.

Enfin, le CNES a été directement **maître d'ouvrage des travaux relatifs à la composante spatiale des programmes menés en coopération**. Ce fut le cas pour la partie française du programme franco-italien de satellite de télécommunications Athéna-Fidus.

M. Jean-Yves Le Gall a ajouté que, dans le futur, coexisteront vraisemblablement des systèmes « *largement récurrents* » et des systèmes au contraire très innovants dans leurs technologies et leur conception d'ensemble. Sur la base d'une analyse de risque menée en début de programme, le CNES pourra alors adapter son mode d'intervention entre une maîtrise d'ouvrage complète sur le système, une maîtrise d'œuvre système ou un apport d'expertise très ciblé sur certains éléments à risque du programme. À ses yeux, « *c'est aussi l'une des richesses du CNES que d'avoir pu développer et maintenir les compétences nécessaires à tous ces modes d'intervention* ». Il a fait valoir également que la dualité des activités du CNES constitue à cet égard un autre avantage, dans la mesure où elle permet de maintenir une expertise solide malgré un volume d'activité nettement moins important qu'aux États-Unis, en Chine ou en Russie.

- *Pour la préparation de l'avenir*

S'agissant de la préparation de l'avenir, M. Jean-Yves Le Gall a expliqué que le CNES et la DGA « *entretiennent de longue date des relations solides et confiantes* » dont les modalités sont fixées par un protocole renouvelé en 2016, de façon cohérente avec le contrat d'objectifs passé entre l'État et le CNES pour la période 2016–2020.

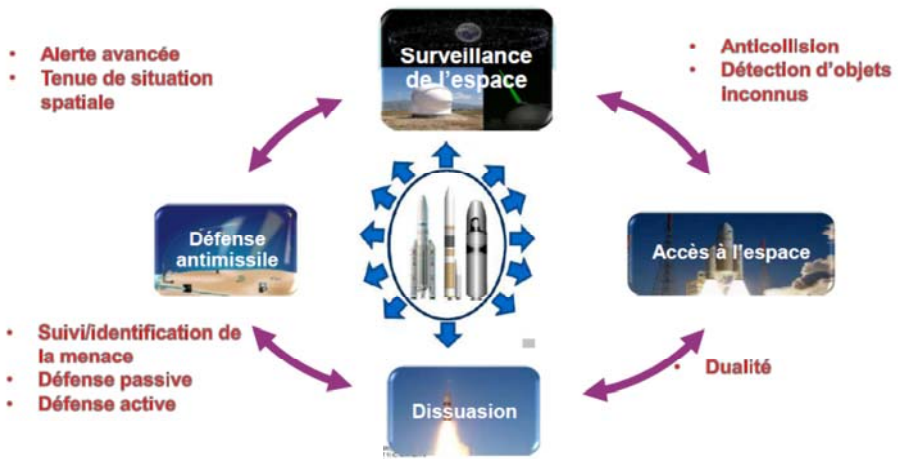
La DGA et le CNES travaillent donc ensemble au quotidien en partageant et en coordonnant leurs stratégies respectives de préparation de l'avenir. Plus précisément, le CNES structure son activité de préparation de l'avenir au profit de la défense autour de deux pôles : d'une part, une activité de recherche et technologie (**R&T**) menée avec des laboratoires de recherche, des PME et les grands groupes industriels et, d'autre part, la réalisation de projets **démonstrateurs** permettant de valider des technologies innovantes.

ii. Une industrie duale

• *Dans l'industrie des lanceurs*

M. Alain Charneau, alors président d'Ariane Group, a aussi souligné « *une grande continuité* » dans les différents champs de compétences du fabricant des lanceurs européens, que présente le schéma ci-après. **Son cœur de métier réside en effet dans la mise à poste des objets du « cortège nucléaire » spatial**, et la garantie de pénétration des défenses anti-missiles de l'ennemi.

LA CONTINUITÉ ENTRE LES ACTIVITÉS DE LANCEMENT CIVIL  
ET LES ACTIVITÉS MILITAIRES D'ARIANE GROUP



Source : Ariane Group.

**La dualité des technologies a permis à Ariane Group de développer des lanceurs civils**, et ses activités de lancement supposent d'investir dans des **moyens de connaissance de l'espace** offerts à différents clients. Comme l'a fait valoir M. Alain Charneau, depuis plus de 50 ans, « *l'alternance des programmes de lanceur et de missile a permis un enrichissement mutuel au sein des entités qui constituent maintenant Ariane Group* » – issues des branches respectives de la société nationale des poudres et explosifs (SNPE), la filiale de Safran appelée « Sncma propulsion solide » (SPS) et Astrium, issue d'Airbus. Ainsi, depuis une quarantaine d'années, se sont enchaînés les programmes de fusées et de missiles balistiques : les programmes de missile M4, de fusée Ariane 4, de missile M45, puis d'Ariane 5 et, enfin, de missile M51 se sont succédé.

Ariane Group est responsable de la disponibilité du missile balistique à bord des sous-marins ; le groupe fournit aussi au CEA les corps de rentrée des têtes nucléaires, c'est à-dire les matériels garantissant que les têtes nucléaires rentrent dans l'atmosphère. Les activités de veille technologique, conduites en liaison avec les services du ministère des Armées, reposent sur des études de restitution des défenses adverses de *retro-engineering* et sur des moyens de

simulation à même de garantir la crédibilité de nos armes. En effet, comme l'a fait valoir M. Alain Charmeau, « *on ne tire qu'un missile balistique tous les deux ans* », mais les lanceurs d'essai sont équipés d'une « *instrumentation très fouillée* ».

D'ailleurs, **la dualité des produits et des services d'Ariane Group est au cœur du modèle économique des lanceurs européens**. Ce modèle pourrait être présenté de la façon suivante :

– la possession de technologies de lancement constitue un impératif de souveraineté, ne serait-ce que pour garantir le maintien des compétences technologiques et de l'outil industriel nécessaires à l'entretien des vecteurs de la composante océanique de la dissuasion nucléaire française ;

– or les commandes institutionnelles des Européens sont trop peu nombreuses pour couvrir les coûts fixes qui s'attachent à l'entretien de ces compétences et de cet outil industriel ;

– aussi les lancements civils permettent-ils d'amortir une part de ces coûts fixes. L'offre d'Ariane Group sur les marchés civils doit néanmoins rester suffisamment attractive, faute de quoi le groupe perdrait tout marché commercial et, par suite, ce volant d'activité civile qui lui permet de maintenir ses compétences. En somme, « *il est toujours moins coûteux aux Européens de financer, via le déficit d'Ariane Group, un peu de quatre ou cinq lancements civils par an qu'entretenir un outil industriel pour un seul lancement par an* ».

Ainsi, l'autonomie industrielle et technologique française en matière de lancement repose sur la complémentarité de trois ressources budgétaires :

– les programmes de défense français qui financent la technologie amont, le développement et la réalisation des missiles balistiques et assurent seuls le maintien de compétences spécifiques à ce domaine, comme l'hydrodynamique, la sûreté nucléaire ou les infrastructures sécurisées ;

– les programmes civils de développement et de soutien à l'exploitation des lanceurs Ariane, programmes financés à 50 % environ par les partenaires européens de la France ;

– avec « *la réduction à la stricte suffisance du nombre de missiles et à l'étalement de leur modernisation, c'est la position dominante d'Arianespace sur le marché des lancements commerciaux* » qui crée un volume d'activité suffisant pour maintenir l'outil industriel et « *réduire les coûts récurrents de tous les programmes, civils et militaires* ».

- *Dans l'industrie des satellites*

Les acteurs de l'industrie des satellites ne sont pas spécialisés dans les marchés de défense. Lors de leurs déplacements sur les sites de Thales Alenia



Space à Cannes et d'Airbus Defence & Space à Toulouse, les rapporteurs se sont fait présenter les installations de recherche et développement ainsi que de production et ont pu constater combien **cet outil industriel de pointe est dual**.

Comme l'a expliqué à Cannes M. Benoît Hancart, directeur des relations institutionnelles de Thales Alenia Space, les directives de l'Agence nationale de sécurité des systèmes d'information et de la DGA imposent cependant pour la construction des satellites militaires des mesures de protection particulièrement strictes :

– ces engins destinés au ministère des Armées sont construits dans un bâtiment séparé du reste de l'établissement ;

– les satellites destinés à des États étrangers sont construits dans un autre bâtiment, lui-aussi séparé du reste de l'établissement ;

– des dispositifs de contrôle des accès et des personnels sont mis en œuvre ;

– des mesures de protection sont prises, tels des réseaux numériques fermés, des moyens de cryptographie ou des cages de Faraday.

De façon générale, comme l'a expliqué M. Nicolas Chamussy, directeur de la division « espace » d'Airbus, les développements industriels sont **toujours conduits « en bonne intelligence » avec la DGA**. Il a cité l'exemple du système Pléiades NEO, développé sur financement privé, qui prend en compte les exigences spécifiques des clients institutionnels – notamment militaires – en vue d'une possible utilisation par les armées.

La profonde dualité des technologies d'engins orbitaux permet d'ailleurs à l'État de recourir à **des formules contractuelles originales**. Ainsi, par exemple, du schéma « hybride » retenu pour les satellites Syracuse 4, dans lequel l'État achète des satellites et ses partenaires industriels se voient octroyer contractuellement le droit de commercialiser une partie des capacités non utilisées par les armées. Comme l'a expliqué M. Alain Frizon, directeur des programmes militaires de satellites de télécommunications d'Airbus, il s'agit là d'un « *modèle intermédiaire entre le marché commercial "as a service" et l'acquisition patrimoniale classique* ».

Ainsi, la base industrielle et technologique de défense en matière spatiale est largement duale ; cela **justifie que l'État veille à son maintien et à son développement**. C'est à ce titre, par exemple, que selon M. Joël Barre, délégué général pour l'armement, le fonds d'investissement DefInvest – destiné à préserver les intérêts de l'Etat dans les « pépites » industrielles, notamment lorsqu'elles sont menacées de rachat – a consacré l'une de ses premières opérations à une société bretonne de technologies spatiales appelée *UnseenLabs*, dont le projet de constellation de nano-satellites permettrait de renforcer la surveillance maritime avec des capacités de détection de bâtiments non

coopératifs. Le délégué général à l'armement, entre autres exemples de sociétés auxquelles veille la DGA, a aussi cité Nexeya, acteur central de la jeune filière française de nano-satellites – des engins de moins de 50 kilogrammes.

Cette situation justifie également que l'État prenne en compte les perspectives de marchés civils de ses fournisseurs dans sa propre programmation capacitaire. C'est par exemple à ce titre que M. Jean-Loïc Galle, président de Thales Alenia Space, a plaidé en faveur d'un cofinancement des développements relatifs à une nouvelle technologie appelée d'« antenne active », qui permet d'accroître considérablement le débit et la flexibilité des transmissions spatiales. Elle intéresse des opérateurs de satellites civils, qui devraient rapidement en passer commande ; elle répond aussi aux enjeux de connectivité des plateformes militaires – notamment aéronautiques – et, à ce titre, sous-tendra le satellite Syracuse 4C. Thales Alenia Space propose donc à la DGA et au CNES « *une sorte de partenariat public-privé* » pour accélérer la commande du développement de cette technologie au titre de Syracuse 4 et ainsi en partager le coût avec un client civil, ce qui permettrait à l'industriel de prendre un avantage sur ses concurrents dans ce domaine.

L'industrie spatiale française loue déjà des services satellitaires à des armées. Ainsi, Airbus Defence & Space Secure Communications possède un portefeuille de contrats de **télécommunications sécurisées**, au sein duquel M. Nicolas Chamussy a cité :

– le **contrat Skynet**, par lequel Airbus fournit des télécommunications satellitaires sécurisées aux forces armées britanniques « *as a service* ». Selon ce contrat, les forces armées britanniques s'engagent à acquérir un volume minimal de service, volume qui leur est garanti et se voient offrir, à la demande, un accès à des volumes de données supplémentaires, selon un catalogue de services. Airbus, par ailleurs, commercialise les capacités de télécommunications des satellites concernés qui ne sont pas utilisées par les Britanniques à des pays tiers, et compte les armées françaises parmi ses clients à ce titre. Dans ce montage, Airbus est propriétaire des quatre satellites concernés et assume ainsi un risque industriel et opérationnel « *inhabituel pour ce type de capacités* » ;

– des **services dits « de welfare »**, c'est-à-dire des prestations de télécommunications « *clés en main* » destinées aux usages personnels des militaires en OPEX. L'économat des armées utilise de tels services.

### iii. Un écosystème efficace

Les synergies entre les secteurs civil et militaire en matière spatiale, exploitées en France depuis plusieurs décennies, ont permis de constituer un écosystème dual qui constitue un précieux atout pour la France.

Toulouse en est l'épicentre. Le président du CNES a d'ailleurs souligné que le centre spatial de Toulouse s'insère dans un **écosystème « unique au monde »**. Cet écosystème agrège effet des universités du meilleur niveau mondial,

comme en témoigne la dernière mission martienne, des laboratoires de recherche, le CNES, les grands industriels du secteur, des *start-up* et autres PME, le pôle de compétitivité Aerospace Valley ainsi que des centres opérationnels de gestion des satellites en orbite basse.

M. Nicolas Chamussy a souligné lui-aussi l'intérêt de l'écosystème de recherche et d'industrie spatiale qui s'est formé autour de Toulouse, précisant qu'il **concentre plus de 70 % de l'activité spatiale en France**.

## **B. UNE BASE INDUSTRIELLE ET TECHNOLOGIQUE EFFICACIE**

Le secteur spatial de défense s'adosse ainsi à une base industrielle et technologique de défense reconnue pour son excellence. En son sein, le rôle de l'Office national d'études et de recherches aérospatiales mérite d'être souligné.

### **1. Un organisme de recherche amont de premier rang mondial**

L'ONERA a été créé à la Libération, avec pour but d'éviter à la France un surclassement technique dans la « troisième dimension ». En parallèle, les mêmes autorités politiques créaient d'ailleurs le Commissariat à l'énergie atomique dans la même optique. C'est cette « *racine militaire* » qui explique le fait que la tutelle de l'ONERA relève aujourd'hui encore du ministère des Armées. Dès la Libération, **la recherche technologique dans la « troisième dimension » a été conçue comme devant s'articuler de façon « fluide » avec l'industrie**. Aujourd'hui encore, quatre représentants de l'industrie siègent au conseil d'administration de l'ONERA. La construction de l'outil de dissuasion, à l'initiative du général de Gaulle, marque une deuxième étape majeure de l'histoire de l'ONERA. Ce sont les nécessités de cette construction qui ont motivé aussi la création de la DGA. Pour la conception des fusées, l'ONERA est sollicité mais fait valoir que son cœur de métier, la recherche, n'est pas celui d'une agence de programmes. C'est pourquoi est créé le CNES, qui entretient statutairement des liens étroits avec l'ONERA.

Récemment encore, l'ONERA a enregistré des « grandes premières », parmi lesquelles M. Bruno Sainjon, son président-directeur général, a cité :

– la première **photographie d'une exoplanète** a été prise en 2018 par le *Very Large Telescope* (VLT) de l'*European Space Organisation* (ESO) installé au Chili, grâce à l'instrument *Sphere* développé grâce à l'ONERA. M. Bruno Sainjon a expliqué que cette « grande première » est **emblématique des bénéfices d'un effort de recherche de long terme**. En effet, cette technologie dite d'optique adaptative a été développée par l'ONERA dès le début des années 1980, lorsque le Gouvernement voulait évaluer les conséquences éventuelles sur la force de dissuasion de l'« initiative de défense stratégique » américaine. L'optique adaptative permet en effet de s'affranchir des turbulences atmosphériques qui perturbent par exemple un faisceau laser. L'ONERA, à cette occasion, a développé un savoir-faire – notamment en matière de concentration de la lumière

et de l'énergie – qui a pu être employé ensuite à d'autres projets, comme les communications optiques, ou la recherche médicale sur la rétine, dont l'état serait prédictif de diverses pathologies et qui ouvre un champ d'applications biométriques. Mais c'est en astronomie que ces techniques ont trouvé leurs premières applications, domaine dans lequel l'ONERA se classe au premier rang mondial depuis plus de vingt ans ; tous les grands télescopes, à l'exception des Américains, utilisent ces savoir-faire. Depuis la photographie d'exoplanète réalisée par les Européens, la NASA est encouragée à développer de tels systèmes. Le prochain grand télescope européen, l'*Extremely Large Telescope* (eELT) est conçu autour de la même technologie d'optique adaptative développée par l'ONERA ;

– l'ONERA a mis en œuvre une **nouvelle référence mondiale en matière de gravité**, décrite par M. Bruno Sainjon comme un « *exploit* ». Selon ses explications, l'Office, avec l'instrument Microscope, a en effet relevé le défi de la vérification d'une loi physique bien connue des scientifiques sous le nom de « principe d'équivalence »<sup>(1)</sup> avec une précision inégalée :  $10^{-15}$ , ce qui revient à être capable de détecter la variation de masse qui survient lorsqu'une mouche se pose sur un grand navire pétrolier. Fin 2017, l'ONERA est ainsi « *devenu la nouvelle référence mondiale* » en battant le précédent record de précision de la vérification de ce principe, marquant une grande maîtrise de l'accélérométrie ultra-sensible. Les Américains ont conduit des recherches dans les années 1990 sur les accéléromètres, avant de se résoudre à acquérir ceux de l'ONERA depuis les années 1990 ; cet exemple prouve que l'Office possède les meilleures compétences en la matière. Or une cartographie très précise de gravité sur terre est d'un grand intérêt pour l'amélioration de la précision des missiles de tous types.

La compétence de l'ONERA est reconnue en Europe. Afin de proposer à l'Agence spatiale européenne et à la Commission des solutions innovantes voire disruptives dans le domaine spatial, cinq établissements publics de recherche<sup>(2)</sup> se sont fédérés en créant en 2016 une association, l'*European Space Research Establishments* (ESRE), ayant pour objet de proposer aux autorités européennes des technologies plus innovantes que celles de l'industrie. Trois autres établissements de recherche (polonais, roumain et tchèque) ont demandé au cours de l'année écoulée à rejoindre cette association, dont l'ONERA prendra la présidence en 2019. Selon M. Bruno Sainjon, la Commission a été plus sensible que l'Agence spatiale européenne aux propositions de l'ONERA et de ses homologues, et s'est appuyée sur ces perspectives pour justifier une hausse de son budget spatial. Plusieurs de **leurs propositions ont en effet été reprises par la Commission à l'appui de la demande faite au Parlement européen d'augmenter significativement le budget européen de recherche spatiale.**

---

(1) Ce principe postule l'égalité de la masse gravitationnelle et de la masse inertielle.

(2) Le Centro Italiano Ricerche Aerospaziali (CIRA) italien, le Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) allemand, l'Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) espagnol, le Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium (NLR) hollandais et l'ONERA.

Plus largement, M. Jean-Yves Le Gall a fait valoir que la performance de notre recherche technologique spatiale peut notamment être appréciée par les **succès français enregistrés dans les réponses aux appels d’offres du programme européen « Horizon 2020 »**, qui attestent la prépondérance de notre technologie spatiale à l’échelle européenne. Pour l’exercice 2016, la France est ainsi arrivée largement en tête en Europe avec près de 28 % du budget alloué par la Commission.

Des équipes scientifiques françaises ont en outre pris des positions très importantes dans des collaborations européennes et internationales de très haut niveau, grâce aux efforts de recherche produits dans le domaine spatial. Sans évoquer l’ensemble de ces nombreux succès, l’atterrissage sur Mars de la sonde InSight fin novembre 2018, dont l’instrument principal est le sismomètre français SEIS – dont le CNES a assuré la maîtrise d’œuvre –, illustre de manière remarquable l’excellence de la recherche spatiale française. À ce titre, M. Bruno Sainjon a jugé que « *la R&T spatiale française est plutôt de bon niveau* » : les « premières mondiales » de l’ONERA le montrent, de même que la place de nos industriels dans le secteur.

## 2. Une industrie spatiale reconnue pour son excellence

### a. Les acteurs français comptent parmi les premiers acteurs mondiaux

#### i. La filière française

M. Nicolas Chamussy, au titre de ses fonctions de président de la commission « espace » du groupement des industries françaises aéronautiques et spatiales (GIFAS), a indiqué que la filière spatiale française a produit un chiffre d’affaires consolidé de 4,6 milliards d’euros en 2017, en croissance de 13 %, et compte **16 000 emplois directs**, cet effectif ayant progressé de 20 % en deux ans.

La France représente ainsi « **un peu plus de la moitié du secteur spatial européen, et 35 % de ses emplois** », ce dont M. Nicolas Chamussy a fait observer qu’il traduit la « *position de “main contractor”* » de l’industrie française.

Le secteur est assez profitable ; pour l’entité spatiale d’Airbus, les marges sont cohérentes avec celles du groupe dans son ensemble – de l’ordre de 6 % –, tandis que celles d’opérateurs comme Eutelsat sont « *nettement plus élevées, à deux chiffres* ».

#### ii. Les principaux acteurs de la filière

M. Nicolas Chamussy a présenté la structure de la filière industrielle spatiale française en citant les acteurs suivants :

– deux maîtres d’œuvre industriels de la filière de satellites : Airbus et Thales Alenia Space ;

– Ariane Group, maître d'œuvre de lanceurs, y compris ceux destinés à la force océanique stratégique ;

– Safran, qui outre sa part de 50 % dans Ariane Group, exerce encore en propre quelques activités spatiales, notamment dans le secteur des propulseurs ;

– Eutelsat, « *grand client historique* » ;

– Telepazio, CIS, et autres grandes sociétés ;

– une quarantaine de PME et ETI diverses, qui gravitent notamment autour de trois pôles de compétitivité : SAFE, en région PACA ; ASTech, à Paris ; et Aerospace Valley, à Toulouse.

Pour ce qui concerne les lanceurs, l'Europe a conquis une position de premier plan grâce à **Ariane, qui doit beaucoup aux compétences françaises**. Le seuil des 100 lancements d'Ariane 5, récemment franchi, atteste de la qualité de ce lanceur, de sa fiabilité et de la maîtrise des opérations de lancement acquises au cours de plusieurs décennies de succès. Autre signe de succès, la NASA a retenu Ariane 5 pour le lancement, en 2021, du grand télescope américain *James Webb Space Telescope* – un programme de dix milliards de dollars –, pour lequel la NASA a retenu Ariane « *au grand dam des industriels américains* ».

Dans le domaine des systèmes orbitaux, les deux maîtres d'œuvre industriels français de la filière (**Airbus Defence & Space et Thales Alenia Space**) jouissent d'une position de premier plan au niveau mondial, notamment dans le secteur ultra concurrentiel des télécommunications spatiales. En la matière, Airbus est « *n° 1 mondial des ventes* » depuis trois ans et l'industrie française, c'est-à-dire l'addition des ventes d'Airbus et de Thales Alenia Space, représente environ 40 % des ventes mondiales sur le marché ouvert à la concurrence.

Les encadrés ci-après présentent ces « champions industriels » français.

#### THALES ALENIA SPACE

● Thales Alenia Space a deux actionnaires : **Thales**, aux deux tiers, et **Leonardo**. Il a été créé en 2005, en même temps qu'une autre co-entreprise détenue par les mêmes actionnaires dans des proportions strictement inverses : **Telespazio**, spécialisée dans la fourniture de services.

Thales Alenia Space compte **4 500 collaborateurs en France**, répartis pour 2 000 environ à Cannes et pour 2 500 à Toulouse. Les autres personnels de Thales Alenia Space sont présents dans plusieurs pays européens. **Cette dispersion européenne s'explique par la règle de « retour géographique » qui régit les programmes de l'Agence spatiale européenne, premier client institutionnel de Thales Alenia Space.**

● Analysée par clients, l'activité du groupe se décompose ainsi :

– les marchés de défense comptent pour 20 % du chiffre d'affaires, dont un tiers réalisé en France ;

– les programmes civils institutionnels – c'est-à-dire ceux des agences spatiales et de la Commission européenne – comptent pour 45 % du chiffre d'affaires ;

– les marchés privés représentent 35 % de ce chiffre.

• Analysées par activité, les télécommunications représentent 43 % du chiffre d'affaires. Si l'activité de Thales Alenia Space est consacrée pour l'essentiel aux satellites, le groupe, *via* son site belge, fournit néanmoins la moitié des systèmes électroniques des lanceurs européens.

### ARIANE GROUP

M. Alain Charmeau a fait valoir que « *le groupe est encore jeune* ». Fondé en 2016 par Airbus et Safran sous le nom « Airbus Safran Launchers », sa création a pour objectif de « *rationaliser le paysage industriel face aux défis actuels* » – notamment la baisse du volume d'activité mondial sur le marché du lancement de satellites de télécommunications en orbite géostationnaire.

Sont ainsi concernés : la famille Ariane, certains équipements communs avec le lanceur Vega, des missiles balistiques et des produits et services commercialisés par Airbus et Safran.

Avec 3,4 milliards d'euros de chiffre d'affaires en 2017, 10 milliards d'euros de commandes enregistrées et 9 000 employés, Ariane Group a une importance financière comparable aux autres maîtres d'œuvre industriels de la BITD française.

### L'ACTIVITÉ SPATIALE D'AIRBUS DEFENCE & SPACE

M. Nicolas Chamussy a expliqué que l'entité d'Airbus issue d'Astrium compte environ 10 000 personnels, répartis en une quinzaine de sites. Cette entité repose elle-même dans les différents États d'implantation du groupe sur différentes sociétés ; en France, c'est Airbus Defence & Space en France qui rassemble les activités françaises du groupe en matière non seulement spatiale, mais aussi aéronautique. Airbus Defence & Space y est organisée en quatre *business units*, deux d'entre elles en particulier concourant à l'activité spatiale du groupe : *Communication, Intelligence & Security* (CIS) – désormais appelée « Airbus Defence & Space GEO Intelligence » – et *Space systems*.

L'ensemble de l'activité spatiale d'Airbus est opéré sur 16 sites en Europe, avec un siège central à Toulouse. Sur environ 10 000 salariés concernés, 6 500 sont employés en France. La part française de l'activité représente 30 % du chiffre d'affaires de la division *Defence & Space* du groupe et recouvre un vaste champ de produits : des satellites d'observation, de communication et de météorologie, des structures orbitales, des sondes spatiales et des lanceurs – qu'il s'agisse de fusées ou de missiles balistiques, activités rassemblées au sein d'une filiale commune avec Safran, Ariane Group, elle-même actionnaire à 74 % d'Ariane Espace.

Concernant l'activité *Space systems*, Airbus, à Toulouse, intègre notamment les satellites CSO et CERES, pour lesquels il est mandataire, ainsi qu'un satellite Syracuse 4.

Dans la société Airbus Defence & Space GEO Intelligence, dans laquelle l'État possède une action privilégiée, ont été transférées les activités de Spotimage. GEO Intelligence compte 2 000 employés dont 1 000 en France, sur trois sites, Toulouse étant le plus important. Elle compte 1 200 clients dans 105 pays et exploite 24 stations de réception. Son activité consiste ainsi, pour l'essentiel, à commercialiser les images produites par les moyens optiques ou radar de plusieurs satellites qu'opère Airbus, pour des applications de toute nature, allant de la modélisation 3D de mines au recensement des automobiles dans des supermarchés américains, en passant par l'établissement d'un cadastre. Au-delà du service, GEO Intelligence fournit aussi des systèmes complets à des clients désireux d'offrir

eux-mêmes des applications utilisant des données spatiales. GEO Intelligence se classe au second rang mondial sur son marché, derrière Maxar et devant Telespazio. Ainsi, en trente ans, la France sous l'impulsion du CNES et de la DGA avec Airbus et ses partenaires a créé *ex nihilo* un champion mondial, « *qu'il convient de pérenniser* ».

En somme, Airbus Defence & Space est le **deuxième acteur de l'industrie des systèmes spatiaux dans le monde et le premier en Europe comme en France**. Le groupe est en particulier « numéro un mondial » dans le domaine des satellites de télécommunications commerciaux en orbite géostationnaire et des systèmes d'observation à très haute résolution hors marchés institutionnels étrangers « captifs ».

## ***b. Un outil industriel innovant***

### ***i. Un outil industriel complet et moderne***

La visite des installations industrielles de Thales Alenia Space à Cannes et d'Airbus Defence & Space à Toulouse a permis aux rapporteurs de mieux comprendre le fonctionnement de l'industrie spatiale et les enjeux de sa modernisation. Ils en tirent le sentiment d'une tendance à la dualisation de l'outil de production.

D'une part, de façon classique pour la construction de satellites, le travail en salle de montage s'apparente encore majoritairement, comme l'a dit un cadre de Thales Alenia Space, à « ***une fabrication artisanale de produits high-tech*** » qui, se transforme très rapidement pour profiter des avantages de la digitalisation – sur le mode de ce que l'on appelle l'« industrie 4.0 ». La spécificité des systèmes orbitaux étant qu'ils ne peuvent pas être réparés une fois lancés, le contrôle de leur qualité de fabrication revêt une importance très particulière. Les rapporteurs ont pu visiter les installations de Thales Alenia Space et d'Airbus Defence & Space dans lesquels chaque satellite est soumis à des tests poussés de résistance à la chaleur, au bruit<sup>(1)</sup> ou aux radiations ; selon les explications qui leur ont été fournies, le contrôle de la qualité des produits est réglé de façon à trouver un équilibre entre l'intensité des tests – gage de qualité –, le souci de répondre à la contrainte de la durée de vie des engins, le coût d'un tel contrôle et le respect du planning de développement.

D'autre part, les responsables de Thales Alenia Space à Cannes ont expliqué comment le développement des constellations de satellites, à commencer par Iridium, ont conduit l'outil industriel à **développer des techniques de fabrication « à la chaîne »**, avec un recours accru aux systèmes robotiques. À Cannes, les rapporteurs se sont fait présenter le robot Robin 1.0, qui décharge les personnels de la manutention d'objets lourds et fragiles, ainsi que les systèmes de pose des inserts. Surtout, les rapporteurs ont pu se faire présenter les installations industrielles du site d'Airbus à Toulouse, et notamment comparer les sites d'intégration des satellites « classiques » et la chaîne de production des dix

---

(1) *Thales Alenia Space et d'Airbus Defence & Space possèdent à cet effet deux des douze chambres acoustiques de haut niveau existantes dans le monde, capable de reproduire le bruit des tuyères de tous les modèles de lanceurs disponibles à ce jour, soit 156 décibels, ce qui représente à peu près celui de cent réacteurs d'avions civils en poussée maximale.*



premiers satellites OneWeb. Ils ont pu ainsi observer le **changement de paradigme industriel à l'œuvre avec l'essor envisagé des constellations de satellites**. En effet, la chaîne de montage de OneWeb est organisée sur le mode du travail à la chaîne, en série, et largement robotisé, à l'inverse des sites de montage des satellites « classiques », organisés sur le mode du travail « sur-mesure ».

Dans les deux cas, les rapporteurs ont pu prendre la mesure de la **complexité des conditions industrielles dans le secteur spatial**. En effet, les conditions physiques auxquelles sont soumis les satellites en orbite – le vide, les températures très chaudes ou très froides, les radiations – sont très rudes, tandis que le besoin de stabilité des instruments en orbite est particulièrement exigeant. Il a été indiqué aux rapporteurs, à titre d'exemple, qu'un degré de variation de température entraîne un déplacement d'un micron des certains objets, ce qui suffit, par exemple, pour déséquilibrer la focalisation d'un télescope.

Ces conditions ont des conséquences sur les marges de tolérance appliquées dans les processus de fabrication – ces marges étant pratiquement nulles – comme, par exemple, sur le choix des matériaux. Ces contraintes physiques ont conduit à utiliser largement le titane. Or la production de celui-ci dépend pour près de 70 % de la Russie. En cas de rupture des approvisionnements depuis ce pays, les industriels français devraient soit chercher à se fournir auprès des États-Unis, soit chercher un substitut au titane, problème difficile compte tenu des caractéristiques remarquables de ce matériau.

## ii. Des programmes de recherche et développement ambitieux

Dans l'analyse des évolutions prévisibles des marchés spatiaux appelant des investissements en recherche et développement (R&D), les dirigeants de Thales Alenia Space mettent en exergue les tendances suivantes :

– la **numérisation des technologies**, notamment dans les segments au sol des systèmes satellitaires ;

– le développement des **systèmes de propulsion électrique**. En effet, la propulsion des satellites est traditionnellement assurée par des ergols pour les deux types de mouvements que doivent effectuer les satellites : d'une part, leur placement en orbite et, d'autre part, pour effectuer les manœuvres de « maintien à poste » des objets. 50 % des ergols embarqués étaient habituellement utilisés pour la mise sur orbite. La propulsion électrique pour le « maintien à poste » permet donc d'alléger le satellite de 50 % environ de son poids, ce qui a un impact direct sur le prix de son lancement. La propulsion électrique est cependant moins rapide qu'une propulsion classique pour atteindre son orbite définitive : une étude de compromis coût / rapidité de mise en service doit donc être menée pour chaque programme de satellite. M. Jean-Yves Le Gall a souligné la rapidité avec laquelle l'industrie française avait développé ces technologies électriques, avec l'appui du CNES, dès lors que la concurrence américaine en a montré tout l'intérêt ;

– les **constellations de satellites de télécommunications** constituent un segment de marché croissant, ainsi d’ailleurs qu’une position forte des deux industriels français. Le projet le plus ambitieux en la matière est la constellation OneWeb d’Airbus, qui devrait compte près de 900 satellites. Certains cadres de Thales Alenia Space ont fait valoir que « *les constellations de Thales Alenia Space sont fonctionnelles* ». Tel est le cas, par exemple de la constellation Iridium qui, selon leurs explications, présente l’avantage d’être constituée de satellites communiquant entre eux ;

– en matière de télécommunications, Thales Alenia Space anticipe le passage d’un jalon important avec la mise en œuvre de **technologies de charge utile flexible pour les satellites**, notamment les technologies d’antenne active susmentionnées, dont l’encadré ci-après présente les enjeux. En effet, si la portée des satellites en orbite géostationnaire représente un tiers du globe terrestre, ceux-ci ne peuvent pas jusqu’à présent faire varier la mission de leur charge utile de façon à la concentrer successivement sur différentes zones, en fonction de l’évolution de la répartition géographique des besoins de services spatiaux – par exemple le cycle de consommation de services de télécommunications suivant le cycle jour / nuit et les décalages horaires. Il s’agit, en quelque sorte, « *d’adapter l’offre de services spatiaux aux besoins des clients sur Terre* ».

#### LA TECHNOLOGIE DITE D’« ANTENNE ACTIVE »

La technologie dite d’« antenne active », qui doit permettre une forte augmentation du débit et de la flexibilité des communications spatiales, repose sur un grand nombre de faisceaux pilotables de très haute puissance et sur un système logiciel de traitement des données ainsi transmises. M. Jean-Loïc Galle, président-directeur général de Thales Alenia Space, a précisé que dans le rythme des opérations aériennes, « *c’est la seule technologie capable de suivre un Rafale* ». M. Riadh Cammoun, vice-président en charge des relations institutionnelles, a ajouté qu’en matière de télécommunications, c’est cette technologie d’antenne active qui permet de constituer « *des satellites véritablement numériques* ». **C’est en quelque sorte avec l’antenne active que s’opère la révolution numérique dans le secteur des satellites** ; elle constituera ainsi « *une véritable rupture technologique* ».

Les clients civils sont eux aussi demandeurs de flexibilité pour leurs satellites, ce que seule la technologie des antennes actives permet. Avec le satellite konekt VHTS, développé pour Eutelsat afin de permettre à Orange de fournir un accès à internet à haut débit dans des zones aujourd’hui mal desservies, Thales Alenia Space a démontré sa capacité à maîtriser les bases de cette technologie. Ce satellite dispose en effet d’un processeur numérique pour gérer d’une manière optimale la capacité. Cependant, selon M. Jean-Loïc Galle, **la rupture technologique n’est pas encore consommée** ; un appel d’offres de l’opérateur de satellites SES pourrait constituer l’occasion de franchir ce pas technologique. SES a en effet prévu de commander vingt satellites de télécommunications, « *ce qui représente un niveau record* ». Le gagnant de cet appel d’offres se placera donc au premier rang mondial.

Chez Airbus Defence & Space, M. Nicolas Chamussy a signalé aussi des développements en cours en matière de « **haute revisite** », c’est-à-dire de systèmes améliorant les taux de revisite des zones d’intérêt, ce qui passe principalement par le développement des constellations pour l’observation de

toute zone du globe et des drones *High Altitude Pseudo Satellite* (HAPS) pour l'observation locale avec le projet Zéphyr – Thales Alenia Space développant pour sa part un ballon dirigeable appelé Stratobus et poursuivant les mêmes buts. Il a cité également, parmi les champs de R&D prometteurs, le développement des **moyens de traitement de données massives à bord même des satellites eux-mêmes, l'interconnexion des satellites** entre eux et – **les très hautes résolutions**, domaine dans lequel, selon Airbus, « *les premiers appels d'offres pour des systèmes à 30 centimètres de résolution commencent à être lancés* ».

Les industriels français consentent ainsi d'importants efforts de R&D. À titre d'exemple, les responsables des programmes d'imagerie spatiale d'Airbus ont expliqué que le groupe conduit un programme très significatif d'investissement, suivant trois axes « *d'avenir* » :

– **l'amélioration des capteurs**, notamment avec le programme Pléiades NEO. Ces capteurs ont une **capacité de couverture quatre fois supérieure** à celle des satellites Pléiades, atteignant deux millions de kilomètres carrés couverts par jour. De plus, la **résolution** des capteurs dans le visible passe de 1,5 mètre pour SPOT et 50 centimètres pour Pléiades à 30 centimètres (voire 25 centimètres si nécessaire) pour Pléiades NEO ; ces capacités atteignent le domaine dit de la « très haute résolution » (**THR**) ;

– les **segments sol**, qui « *sont longtemps restés les parents pauvres des systèmes spatiaux* » composés des centres de contrôle, de programmation et d'exploitation, des stations de réception et des réseaux terrestres associés. Ces segments sol répondent à des exigences sévères de réactivité, de sécurité et de disponibilité ;

– les **technologies d'analyse et d'exploitation des données**, qui « *offrent un potentiel considérable* » et mettent d'ailleurs l'imagerie satellitaire à la portée d'un nombre d'acteurs beaucoup plus important que lors des dernières décennies.

En outre, avec le développement d'une filière française de satellites à propulsion électrique, les industriels français ont été conduits à développer de nouveaux moyens de suivi et de caractérisation des objets orbitaux. En effet, ces satellites mettent plusieurs mois à rejoindre leur orbite géostationnaire et, pendant la durée de ce trajet de « mise à poste », des liaisons doivent être établies entre eux et les opérateurs qui les pilotent. M. Philippe Coq a ainsi expliqué qu'Airbus Defence & Space a « *investi dans la réalisation de plusieurs sites antennaires répartis dans le monde pour assurer ce suivi* ». Il a expliqué que ces moyens ont permis d'assurer avec succès la « mise à poste » des premiers satellites à propulsion entièrement électrique produits par cette société, précisant même qu'« *ils ont d'ailleurs permis de retrouver rapidement et sans encombre le satellite SES 14 qui avait été injecté sur une mauvaise orbite par Ariane 5 en janvier 2018* ».

## **II. AVEC L'ESSOR DES TECHNOLOGIES SPATIALES, ÉMERGENT DE NOUVEAUX CONCURRENTS POUR NOTRE INDUSTRIE ET DE NOUVELLES VULNÉRABILITÉS POUR NOS FORCES**

Les technologies spatiales connaissent aujourd'hui un essor sans précédent à tous points de vue : le rythme de l'innovation technologique est plus soutenu que jamais, les applications et les usages de ces technologies se multiplient, ainsi que le nombre de leurs utilisateurs, nombre de sociétés nouvelles se créent à la faveur d'un regain d'investissement – public comme privé – dans le secteur spatial, et de nouveaux projets de conquête spatiale viennent à l'ordre du jour.

Comme par une synecdoque, un terme incarne cette vague économique et technologique : le *New Space*, nom donné au secteur de l'industrie spatiale américaine qui s'est développé depuis une dizaine d'années en parallèle des industriels traditionnels de ces marchés et qui a connu une forte croissance, grâce à des méthodes et des produits innovants.

Le *New Space* va de pair avec un mouvement de banalisation des services spatiaux. Si celui-ci a l'avantage de rendre accessibles de nouvelles technologies, le revers de la médaille est double :

– avec l'émergence de nouveaux acteurs dans le secteur spatial, le *New Space* tend à déstabiliser les rapports de forces entre puissances industrielles établies jusqu'alors dans le secteur spatial, ce qu'une part de l'industrie spatiale française et européenne paraît n'avoir pas assez anticipé ;

– avec la banalisation de l'usage de services spatiaux, naît une sorte de dépendance des usagers aux moyens concernés et, pour des usages comme ceux des armées ou ceux d'opérateurs d'importance vitale pour la société française, cette dépendance a pour corolaire une vulnérabilité accrue.

### **A. UNE RÉVOLUTION INDUSTRIELLE QU'INCARNE LE *NEW SPACE* ET QUI SOUMET LE SECTEUR SPATIAL FRANÇAIS À UNE VIVE CONCURRENCE**

#### **1. Une puissante vague de renouveau industriel et d'innovation dans le secteur spatial, née aux États-Unis**

Parmi les parangons du *New Space*, on citera notamment :

– SpaceX, fondée par M. Elon Musk en 2002, qui est parvenue – après plusieurs échecs – à mettre au point un lanceur, le Falcon 9, ainsi qu'un vaisseau cargo, le Dragon, tous deux retenus par la NASA dans le cadre du programme *Commercial Orbital Transportation Services* pour assurer une partie du ravitaillement de la station spatiale internationale. SpaceX a réussi à faire atterrir verticalement son lanceur sur une plateforme maritime. Le 31 mars 2017, a été lancé un Falcon 9 dont le premier étage était récupéré d'un précédent lanceur ; la

réutilisation de certaines parties des lanceurs constitue en effet un point central pour le modèle économique de SpaceX. La société développe par ailleurs un lanceur lourd, le Falcon Heavy ;

– Blue Origin, créée par M. Jeff Bezos en 2000. Cette société développe une fusée monoétage couplée à une capsule destinée à embarquer des passagers en vue de missions de tourisme spatial suborbital. Blue Origin participe également au programme *Commercial Crew Development* de la NASA pour le transport des équipages de la station spatiale internationale. Cette entreprise développe aussi, pour le compte de United Launch Alliance (ULA) – la co-entreprise spatiale de Boeing et Lockheed Martin –, la propulsion principale de son futur lanceur lourd Vulcan, avec une motorisation à carburants liquides composée d'un mélange de méthane et d'hydrogène.

De surcroît, comme l'a fait valoir M. Jean-Loïc Galle, la réalité du *New Space* ne se limite pas à ces grandes sociétés qui se diversifient dans le secteur spatial : elle tient davantage à « **un foisonnement de petites sociétés et start-up développant des petits lanceurs et des petits satellites ainsi que des modèles économiques innovants** ».

#### a. *Qu'est-ce que le New Space ?*

i. Le résultat d'un intérêt nouveau des marchés privés de capitaux pour le secteur spatial

- *Un nouveau champ d'investissement pour les capitaux privés*

Comme l'a expliqué M. Bruno Sainjon, l'un des atouts de l'industrie américaine tient souvent à **l'intervention d'acteurs privés**, en l'occurrence de milliardaires. On rappellera à cet égard qu'avant de développer Space X, M. Elon Musk avait fait fortune dans l'industrie numérique et avait déjà diversifié son activité dans les transports, principalement la construction automobile à motorisation électrique ; de même, M. Jeff Bezos, avant d'investir dans Blue Origin, avait fondé la société Amazon et en avait tiré la première fortune du monde.

M. Norbert Paluch, conseiller spatial à l'ambassade de France aux États-Unis et représentant du CNES aux États-Unis, a souligné que l'un des déterminants de l'émergence du *New Space* tient à la **masse de capitaux** investis dans l'industrie spatiale, non seulement par des **milliardaires** ayant fait fortune dans d'autres industries, mais aussi des **venture-capitalists**. Cette accumulation de capitaux peut d'ailleurs présenter certains aspects d'une bulle financière. En effet, beaucoup de fonds d'investissement technologiques semblent ne pas être insensibles à l'image positive des projets spatiaux, ce qui semble créer un effet d'entraînement global vers ce domaine. Cette tendance pourrait en partie expliquer l'engouement pour le financement d'entreprises portant des projets dont le retour sur investissement apparaît sinon hypothétique, au moins très lointain et dont la

faisabilité technologique demeure à prouver, par exemple en matière d'exploitation des ressources minières extra-atmosphériques. Pour l'heure, les marchés n'ont pas encore procédé à des corrections sur les valeurs spatiales comme ils l'ont fait sur les valeurs numériques, mais de tels mouvements sont anticipés par certains analystes.

En tout état de cause, pour l'heure, l'intervention d'investisseurs privés est assumée par les autorités américaines comme une part de leur stratégie spatiale. Ainsi, par exemple, selon le *Congressman* Ro Khanna, représentant d'une circonscription de Californie correspondant à la *Silicon Valley*, l'un des intérêts de l'émergence de cette nouvelle industrie tient au fait que des investisseurs privés viennent ainsi prendre le relais de la NASA, qui ne peut désormais plus supporter seule la charge financière de la politique spatiale américaine. M. Ro Khanna a cependant reconnu que le *New Space* est largement soutenu par le Gouvernement fédéral, ce soutien passant par l'ouverture de grands contrats.

- *Des capitaux privés qui demeurent un « appoint » dans l'économie générale du secteur spatial*

Les rapporteurs soulignent qu'il ne faut cependant pas exagérer l'importance des capitaux privés dans le financement du *New Space*. Si l'importance de l'industrie financière américaine et la présence, aux États-Unis, d'entrepreneurs fortunés a joué, **ce sont les fonds publics qui ont alimenté une large partie des projets du *New Space*, au moins jusqu'à présent.**

Comme l'a fait valoir M. Jean-Jacques Dordain, les marchés spatiaux restent très largement des marchés publics : les dépenses spatiales représentent en moyenne 75 milliards de dollars par an de financements publics, pour quatre à cinq milliards de financements privés seulement. Or les deux tiers environ de ces fonds publics sont dépensés par les Américains. Ainsi, les États-Unis représentent « **un grand marché public garanti** » pour les industriels américains – les marchés européens n'étant « *ni grands, ni garantis* ». C'est donc en partie du fait du poids de ce marché public américain que le *New Space* est né aux États-Unis.

- ii. Une industrie qui a innové moins par ses capacités de R&D que par son art d'industrialiser des technologies mises à disposition par la NASA

Le président-directeur général de l'ONERA a souligné que, dans le *New Space*, ces investisseurs privés ont apporté à l'industrie spatiale une plus-value tenant moins aux technologies elles-mêmes qu'à la façon de les **industrialiser**. Space X, par exemple, ne fait pas fond sur des ruptures technologiques majeures ; sa réussite tient à **l'agrégation de savoir-faire développés ailleurs que dans le secteur spatial** – par exemple dans l'industrie automobile en ce qui concerne les techniques de production. L'innovation, dans ce cas, procède des systèmes d'intégration des différentes « briques » d'équipements ; le cas le plus emblématique de cette démarche est la coordination des neuf moteurs du Falcon 9,

dont la conception individuelle ne procède en rien d'une technologie dite « de rupture », mais dont un tel assemblage est inédit et complexe.

Entre autres innovations méthodologies, M. Bruno Sainjon a cité l'introduction de **techniques industrielles de fabrication en série**, qui peuvent rompre avec les traditions des grandes agences spatiales, notamment européennes.

De façon générale, **les start-up du New Space se nourrissent de technologies mises à leur disposition par des organismes publics, notamment la NASA et son Jet Propulsion Laboratory (JPL)**, sous forme de briques technologiques quasiment abouties et transférées de façon quasiment libre. Par exemple, la NASA a beaucoup soutenu les initiatives privées de M. Elon Musk, fondateur de Space X, par des transferts de technologies et la mise à disposition de précieux moyens d'essais. C'est pour cette raison que M. Alain Charneau a déclaré que « *c'est la NASA qui a fait le New Space* ». Cette initiative délibérée s'inscrivait dans une **stratégie de rebond de la NASA**, marquée par l'échec relatif de son programme de navette, qui a choisi de déléguer une grande partie de ses programmes de lanceurs à des opérateurs privés plutôt que de relancer un programme en propre. En effet, ce programme de navette s'est avéré trop coûteux, or son arrêt a privé la NASA et les États-Unis de toute capacité propre de transport d'astronautes vers l'*International Space Station* à seulement 400 kilomètres d'altitude. C'est pour sortir de cette impasse que la NASA a décidé de revoir sa politique industrielle pour relancer des partenariats de long terme, lancer un appel d'offres « *dont le grand vainqueur a été Space X* ». L'innovation majeure de cette société repose sur l'idée de « *passer d'une économie de prototypes très sophistiqués à une démarche industrielle, à 30 ou 50 lancements par an* ».

M. Bruno Sainjon a précisé que l'ONERA a été approché par SpaceX mais que, toutefois, l'Office est réticent à transférer des technologies par souci de ne pas affaiblir ses partenaires traditionnels tels que Safran, Thales Alenia Space et Airbus Defence & Space – ne serait-ce que pour éviter les conséquences sociales qu'aurait un tel affaiblissement, « *difficiles à assumer* ». Si la NASA a soutenu SpaceX, de même, c'est au détriment de ses deux partenaires traditionnels fabricants de lanceurs ; néanmoins, pour les chercheurs, le marché du travail est plus fluide aux États-Unis qu'en Europe, ce qui a pour effet de limiter les conséquences sociales de tels choix.

iii. Un secteur nourri par l'économie numérique

- *Un avatar de la « révolution numérique » ?*

M. Jean-Yves Le Gall a estimé pour sa part que le *New Space* **résulte, d'une part, de la numérisation de l'économie** et, d'autre part, de l'apparition de **nouveaux compétiteurs économiques** que favorise la mondialisation.

En effet, déclinée au domaine spatial, la numérisation de l'économie a permis de produire des satellites plus petits, moins chers à produire et à lancer, ce

qui a amené de nouvelles entreprises à prendre des positions sur « *le nouveau marché de la donnée spatiale* ». Le président du CNES a expliqué que, d'une économie de l'offre centrée sur la production des satellites et des lanceurs, nous évoluons à grande vitesse vers une économie de la demande fondée sur la fourniture de données en adéquation avec le marché ; dans ce mouvement, **les lanceurs et les satellites tendent ainsi à devenir de simples outils au service du marché de la donnée**. Le fait que SpaceX conçoive et opère peut-être bientôt sa propre méga-constellation de télécommunications déployée par ses propres lanceurs, qu'Amazon Web Service annonce un nouveau service de stations satellite pour capter dans son cloud les données spatiales, tout en poursuivant son projet de lanceur Blue Origin « *ne relève pas du hasard* ». Au contraire, il porte les germes d'« *une recomposition du secteur autour de nouveaux champions et de nouvelles valeurs* ». M. Jean-Jacques Dordain a ajouté que les grandes entreprises du numérique – communément appelées les « Gafa » pour désigner, par leurs initiales, Google, Apple, Facebook et Amazon – s'intéressent à l'espace « *non pas seulement pour poursuivre un rêve* », mais aussi pour « **collecter et distribuer des données en s'affranchissant des limites physiques et réglementaires** » afférentes aux réseaux terrestres.

D'ailleurs, à ses yeux, l'émergence du *New Space* aux États-Unis tient aussi au fait que les Européens ont « raté la marche » d'internet.

En outre, l'outil industriel du *New Space* paraît être organisé conformément aux canons de la « révolution numérique ». L'ambassadeur de France aux États-Unis a ainsi indiqué aux rapporteurs avoir été marqué, lors de sa visite de l'usine de Space X en Californie, par la grande place faite à la robotique dans cette « *usine du futur* », qui compte un personnel réduit et au sein duquel la hiérarchie apparaît particulièrement souple. M. l'ambassadeur a ajouté que la visite de cette usine avait suscité un fort intérêt des plus hauts dirigeants du CNES. Il a aussi relevé une forte présence non négligeable d'ingénieurs français au sein de cet outil de production, fait d'intérêt ambivalent pour la France, puisqu'il marque à la fois l'excellence des écoles et universités françaises et, dans le même temps, la forte attractivité de l'industrie américaine par rapport à l'industrie française ou européenne pour ces jeunes diplômés.

- *Une multiplication des applications et des usages*

Le *New Space* s'est traduit par une accélération des développements technologiques et une multiplication des projets d'application des technologies spatiales au-delà des domaines traditionnels d'intervention des agences spatiales, ce qui conduit ces dernières à devoir ajuster leurs modes d'interaction avec le secteur privé.

Parmi les tendances actuelles du marché spatial, le président de Thales Alenia Space a d'ailleurs mis en exergue, outre le caractère exponentiel de l'innovation technologique, « **un changement d'état d'esprit des clients** ». Il a expliqué qu'il y a quelques années, lorsqu'il a pris ses fonctions, les clients étaient



attachés surtout à la crédibilité que confère à un industriel l'héritage d'une longue histoire dans l'industrie spatiale alors qu'aujourd'hui, l'attention des clients se porte bien davantage sur les aptitudes de leurs fournisseurs à l'innovation et aux ruptures technologiques.

Ainsi, la croissance des *start-up* du *New Space* est favorisée par cette évolution de la demande sur le marché spatial, qui privilégie les objets spatiaux légers, d'une durée de service relativement courte (un à trois ans) et utilisés en grand nombre, plutôt que les grands objets spatiaux pour lesquels les exigences de fiabilité industrielle étaient traditionnellement d'autant plus élevées qu'ils étaient coûteux, peu nombreux et souvent appelés à rester longtemps en service (autour d'une quinzaine d'années).

iv. Une ambition, peut-être non feinte, de relance de la conquête spatiale

À première vue, bon nombre des projets de sociétés du *New Space* suscitent des doutes quant à leur viabilité. Ainsi, par exemple, Space X affiche pour ambition stratégique de conquérir Mars ; Blue Origin de développer le tourisme dans l'espace ; d'autres encore, comme *Deep Space Industries*, *Planetary Resources* et *United Launch Alliance*, d'exploiter les ressources minières extra-atmosphériques.

Faut-il prendre au sérieux la part de quasi-messianisme qui sous-tend de tels projets ? Les acteurs du *New Space* sont-ils de purs hommes d'affaires attirés par le profit, ou des idéalistes animés par une sorte de romantisme qui s'attache à la conquête d'espaces infinis et inconnus ? Pour M. Ro Khanna, les grands chefs d'industrie du *New Space* sont **véritablement animés par un esprit idéaliste de « nouvelle frontière », qui n'est pas indissociable d'un certain sens des affaires** ; en tout état de cause, la dimension idéaliste de cette industrie n'est pas à négliger. Pour nombre d'observateurs avertis, si nombre d'entrepreneurs du *New Space* ont des visées essentiellement mercantiles, d'autres, comme MM. Elon Musk ou Jeff Bezos, semblent ne pas être uniquement mus par une ambition commerciale, mais également portés par une sincère volonté de servir l'Humanité, en lui permettant, à plus long terme, de vivre au-delà de la planète Terre.

Quoi qu'il en soit, même les projets les plus « prophétiques » pourraient s'avérer pour partie auto-réalisateurs. Ainsi, comme l'ont dit M. Tom Stroup, président de la *Satellite Industry Association* (SIA)<sup>(1)</sup> et Mme Therese Jones, directrice générale des affaires politiques de la SIA, « *la NASA a en quelque sorte rejoint M. Musk : aller sur la Lune et s'en servir de relais pour Mars est désormais son objectif officiel* ». Le parallèle avec Christophe Colomb est évoqué pour illustrer la pensée des responsables de la NASA, que le président de la SIA résume de la façon suivante : « *l'homme n'ira peut-être pas sur Mars, mais la technologie développée dans ce but est très intéressante et c'est là l'essentiel* ».

---

(1) *L'association des industriels du satellite, syndicat professionnel de référence pour le secteur spatial.*

***b. Un défi concurrentiel pour la base industrielle et technologique française et européenne***

- i. Les Français, comme les autres Européens, ont d'abord été volontiers sceptiques quant aux promesses du *New Space* et affrontent aujourd'hui une concurrence renforcée

- *Un scepticisme initial vis-à-vis des acteurs du New Space*

M. Jean-Yves Le Gall a admis qu'« ***il est juste de reconnaître l'existence en France d'un certain scepticisme initial vis-à-vis des acteurs du New Space*** ».

Concernant en particulier les lanceurs, M. Bruno Sainjon a indiqué que l'ONERA avait proposé à sa tutelle dès le début des années 2000 de travailler sur des lanceurs réutilisables. D'ailleurs, le plan stratégique de l'ONERA avait été signé par M. Alain Richard, alors ministre de la Défense, qui avait invité à la cérémonie de signature le président-directeur général et le directeur général délégué du CNES pour marquer l'importance qu'il attachait aux orientations proposées. Pourtant, nombre d'acteurs français du secteur spatial étaient très sceptiques quant aux moteurs réutilisables ; « *puis vint SpaceX...* » De même, Dassault avait conduit un projet de lanceur innovant, appelé Pegasus ; il s'agissait d'un dispositif de lancement depuis un aéronef. Le président du CNES a expliqué que ces concepts proposés à l'époque par l'ONERA et Dassault n'avaient pas démontré leur rentabilité économique dans une période où Ariane s'imposait sur le marché ouvert des lancements, et que les décisions techniques d'Ariane Group lors du lancement du programme Ariane 6 n'ont ensuite pas pris en compte cette possibilité.

D'ailleurs, il a souligné que « *l'industrie européenne prend désormais Space X au sérieux, ce qui n'était pas le cas à ses débuts* » lorsque lui-même alertait déjà l'écosystème spatial européen alors qu'il exerçait les fonctions de président d'Arianespace. Il a précisé que qu'en 2014, il avait pris la décision de lancer, « *contre l'avis de tous* », le programme de moteur réutilisable à bas coût Prometheus. Les rapporteurs soulignent la pertinence de ce choix, dans la mesure où le moteur Prometheus repose sur les mêmes choix technologiques et économiques que celui de Space X, qui n'est autre que le propulseur Merlin que lui a fourni la NASA.

- *Une pression concurrentielle de plus en plus intense et pas toujours non-fauscée*

Par rapport à l'époque précédant l'émergence du *New Space*, la concurrence s'est très nettement avivée sur les marchés spatiaux.

Ainsi, le marché des satellites est « ***dominé par la Chine et les États-Unis*** », selon les représentants de Thales Alenia Space. Cependant, les représentants d'Airbus Defence & Space rencontrés à Toulouse ont signalé « *des*

*politiques de prix très agressives de certains concurrents, notamment coréens et, désormais, chinois ».*

En outre, **entre Européens, la concurrence est de plus en plus vive.** Ainsi, pour Airbus Defence & Space, développement par la société allemande OHB System d'un système optique haute résolution pour le gouvernement allemand constitue une menace concurrentielle qui « *appelle un effort de différenciation permanente* » de la part des industriels français. De même, Thales Alenia Space fait valoir que depuis dix ans déjà, l'Allemagne et le Royaume-Uni investissent davantage que la France dans les satellites.

Concernant les lanceurs, la concurrence majeure rencontrée par Ariane Group tient à Space X. De surcroît, comme l'a fait valoir M. Bruno Sainjon, « *on parle peu souvent* » de la concurrence italienne, mais il n'en est pas moins que l'industriel italien Avio et ses partenaires ont développé le lanceur Vega « *plutôt rapidement* » et que leurs vellétés de développement d'un nouveau Vega pourraient « *constituer un handicap pour Ariane 6* ».

Or **la concurrence est loin d'être non-fauscée.** On l'a vu, Space X a bénéficié d'importants transferts de technologies de la NASA ; surtout, s'il peut pratiquer des prix extrêmement attractifs sur le marché des lancements commerciaux, c'est parce que l'entreprise compte sur un nombre important de lancements institutionnels américains facturés à un prix élevé – certains observateurs estiment que, toutes choses égales par ailleurs, Space X est rémunéré pour ses lancements institutionnels deux fois plus qu'il ne facture ses lancements commerciaux.

Des situations de même nature s'observent dans le secteur des satellites. À titre d'exemple, M. Jean-Loïc Galle a indiqué que Thales Alenia Space a perdu la compétition lancée pour le projet O3B NG, une grande constellation, car son concurrent américain a pu présenter une offre particulièrement compétitive du fait de subventions du *Department of Defense*, en dépit du caractère civil du marché.

- *Un défi pour l'industrie française*

Comme l'a déclaré M. Jean-Yves Le Gall, aujourd'hui, la compétitivité des produits proposés par certains pays concurrents de la France dans le secteur spatial appelle à réagir. Les efforts financiers nécessaires pour industrialiser une nouvelle génération de produits augmentent et, surtout, les cycles d'innovation se raccourcissent. **Plus que jamais se trouve renforcée la nécessité pour notre pays de conserver une avance à la fois dans la technologie et dans les architectures innovantes.**

D'une part, l'avance technologique a depuis longtemps constitué un axe fort de la politique de recherche dans le secteur et a permis de hisser la France au premier plan. Cette dynamique doit naturellement être maintenue. Mais, d'autre part, le président du CNES a jugé que **l'innovation dans le domaine des**

**architectures de systèmes doit en revanche faire l'objet d'efforts accrus.** Cela passe par des transferts de technologie du domaine commercial au secteur spatial – par exemple l'utilisation de composants commerciaux non spécifiques, ou le recours à la fabrication additive – et par l'accompagnement vers « *une approche d'architecture de conception et de réalisation de type "série"* » avec le niveau de versatilité nécessaire à l'adaptation aux besoins du client.

M. Jean-Yves Le Gall a indiqué qu'à cette fin, le CNES met en œuvre une stratégie de réponse au *New Space*, comportant trois volets :

– le **maintien de l'excellence technologique et scientifique**, pour lequel il a fait valoir les atouts de l'écosystème spatial toulousain ;

– une **meilleure intégration de l'écosystème spatial dans l'écosystème français et européen**. Depuis deux ans, le CNES multiplie dans cette logique les initiatives afin de favoriser l'innovation et développer les usages du spatial au sein des écosystèmes extérieurs, spatiaux ou non. Il a notamment créé le fonds d'investissement CosmiCapital pour encourager l'entrepreneuriat et le développement des entreprises de l'écosystème spatial. L'idée est de faire du secteur spatial un accélérateur d'innovation pour l'ensemble de l'industrie française en développant les transferts de technologie ;

– les **coopérations internationales** qui permettent aux acteurs français d'élargir leur base scientifique et économique, ce qui est très important car « *dans l'innovation, la solitude condamne à la stagnation* ».

ii. L'industrie des lanceurs semble pâtir davantage que celle des objets orbitaux de la concurrence du *New Space*

- *Pour ce qui concerne l'industrie des engins orbitaux*

M. Nicolas Chamussy a insisté sur le fait qu'Airbus a consenti très tôt d'importants investissements pour « **prendre des positions solides dans les marchés boostés par le *New Space*** », citant deux projets majeurs :

– **Pléiades NEO** : les satellites Pléiades, d'usage dual, ont été développés par le CNES et Airbus en assure depuis 2012 l'exploitation et la commercialisation des images par délégation de service public. La durée de service des satellites Pléiades touche bientôt à sa fin. Afin de renouveler cette capacité qui a permis à Airbus de se positionner comme le deuxième acteur mondial derrière l'américain Digital Globe, Airbus a lancé un programme de quatre satellites appelé « Pléiades NEO », qui doit atteindre une résolution de quelques dizaines de centimètres : « *c'est une véritable machine de guerre* » et le nombre d'images produites chaque jour est « *considérable* ». Airbus a investi dans ce projet plusieurs centaines de millions d'euros de ses fonds propres, **sans engagement d'achat institutionnel**. Airbus sera à la fois constructeur et exploitant du système Pléiades NEO, c'est à l'intérieur même du groupe qu'une entité exploitante achète des satellites auprès d'une entité fabricante ;

– **OneWeb**, « méga-constellation » constituée de 900 satellites de 150 kilogrammes chacun et destinée à fournir un accès internet haut débit, à faible latence et sur toute la surface terrestre. Conformément à la logique architecturale même d'une constellation, un tel système ne fonctionne que lorsque la constellation est « *à peu près complète* », ce qui suppose des cadences « *élevées* » de production et de lancement des satellites. OneWeb envisage ainsi de produire jusqu'à trois satellites par jour, ce qui a nécessité un renouvellement complet de ses méthodes industrielles. OneWeb est une initiative totalement privée, c'est-à-dire conduite **sans soutien financier institutionnel** ; le développement des compétences et de certaines technologies a toutefois fait l'objet de supports institutionnels.

C'est d'ailleurs en référence à OneWeb que le président de la *Satellites Industry Association* a reconnu qu'Airbus possède des atouts solides dans le *New Space* : un *design* simplifié qui a permis la modernisation de l'outil de production en Floride, ainsi qu'une certaine capacité à attirer des investisseurs nouveaux. Ce projet a aussi des inconvénients, parmi lesquels M. Tom Stroup a relevé un *turnover* élevé des cadres, une incertitude sur la maîtrise du coût des segments au sol, ainsi que l'absence de clients de lancement. Certes, Apple est la preuve qu'une entreprise n'a pas nécessairement besoin de clients de lancement pour connaître un succès majeur ; mais des centaines d'entreprises ont subi un sort moins favorable avec la même approche. En outre, OneWeb a pour objectif une couverture de l'ensemble du globe, or 70 % de la surface de la Terre est constituée d'océans, où les besoins de connexion à internet se limitent aux liaisons maritimes et aériennes et où, de ce fait, « *rien qui justifie une constellation de satellites aussi dense* ». M. Philippe Coq, secrétaire général permanent pour les affaires publiques du groupe Airbus, a toutefois fait valoir, d'une part, que la charge du segment sol de la constellation OneWeb ne relève pas d'Airbus defence & Space mais d'un autre partenaire de la société OneWeb et, d'autre part, qu'un premier tir de déploiement de cette constellation est prévu le 19 février 2019.

Dans le cas particulier des satellites de télécommunications, la stratégie d'Airbus pour répondre aux défis que pose l'évolution prévisible des marchés a été décrite aux rapporteurs de la façon suivante. Traditionnellement, Airbus privilégiait le « sur mesure » : même les formes des antennes sont optimisées en fonction des zones géographiques à cibler ; mais, depuis l'apparition du *New Space*, Airbus met également l'accent sur les constellations en orbite basse, et sur des systèmes géostationnaires dont l'architecture est plus flexible et qui reposent sur des satellites « génériques » dotés de « *fortes capacités* » dans des bandes de fréquences spécifiques. Parallèlement, de tels satellites génériques en orbite géostationnaire pourraient se prêter à des offres commerciales sur le mode du *leasing car*, en optimisant la puissance des satellites et en reprogrammant leurs zones de couverture, un emploi flexible de ces engins spatiaux est envisageable. De façon générale, Airbus s'applique à intégrer « *le meilleur du New Space* », son offre pour le système Leo Vantage de l'opérateur canadien Telesat étant citée en exemple de cette approche.

Cette appréciation générale de la situation est partagée par Thales Alenia Space. M. Jean-Loïc Galle a d'ailleurs observé que la viabilité financière des *start-up* du *New Space* est très incertaine. Par exemple, Thales Alenia Space a investi dans une société américaine spécialisée dans le traitement des données satellitaires qui, sans cet investissement, « *aurait assurément périclité* ». C'est d'ailleurs très régulièrement que les grands industriels du secteur reçoivent des sollicitations de telles *start-up* qui manquent d'un partenaire industriel robuste. En somme, pour M. Jean-Loïc Galle, le *New Space* a certes amené les grands industriels historiques à stimuler leurs capacités d'innovation et à se transformer plus rapidement, mais **pour un groupe comme Thales Alenia Space, la concurrence la plus vive vient bien davantage de Boeing que de ces *start-up*.**

Reconnaissant qu'en matière de satellites, l'Europe « *tire son épingle du jeu* » grâce à sa compétitivité, en dépit de budgets institutionnels plus faibles, M. Jean-Loïc Galle a néanmoins alerté les rapporteurs d'un risque. En effet, dans un contexte où la subvention publique est indispensable à la compétitivité de l'offre française – ne serait-ce que parce que ses concurrents sont largement subventionnés, directement ou non –, **il pourrait y avoir un effet d'éviction, au détriment de l'industrie des satellites, si celle des lanceurs devait être plus soutenue encore qu'aujourd'hui par les subventions publiques.**

Il a fait valoir que l'industrie des satellites représente environ 12 000 emplois et 3,5 milliards d'euros de chiffre d'affaires en France, soit approximativement trois fois plus que celle des lanceurs. Pour cette raison, tout en rappelant son soutien au programme de lanceur et en confirmant le besoin de lanceurs européens compétitifs, il a alerté contre toute décision qui conduirait à mettre en difficulté le secteur des satellites dans l'allocation des soutiens publics. Or le risque existe que la France, « *peu soutenue par les autres Européens dans ses projets de lanceurs* », soit obligée de concentrer ses efforts dans ces projets, au prix, d'un relâchement de ses investissements en matière de satellites.

- *Pour ce qui concerne l'industrie des lanceurs*

Le lanceur européen de référence, Ariane 5, a été développé à partir de 1987 ; il est appelé à être remplacé à partir de 2020 par un nouveau modèle de lanceur lourd, Ariane 6, qui n'a pas été développé de façon à permettre la réutilisation de certains de ses équipements, à la différence des moteurs du Falcon 9 de Space X. Trois difficultés majeures apparaissent dans le programme Ariane 6 :

– en 2014, a été développé un **concept européen de lancement autour le lanceur léger Vega et du lanceur lourd Ariane 6, mais les conditions de marché ont été bouleversées entretemps** par la miniaturisation des charges utiles. Ainsi, la répartition des marchés potentiels entre la version légère d'Ariane 6 et le lanceur Vega comporte encore des zones de recoupement. Or, pour lancer un même satellite, un acteur institutionnel risque fort de préférer une offre Vega moins chère qu'une offre Ariane 6 ;

– Ariane 6.4 est calibrée pour lancer des satellites en géostationnaire mais les considérables progrès enregistrés dans l’industrie des satellites ont **réduit le nombre de lancements nécessaires** ;

– de surcroît, **Space X a beaucoup accru la pression concurrentielle**, grâce au soutien du gouvernement américain ;

– en outre, **Space X est en train d’imposer un nouveau standard mondial**, avec un seul type de moteur contre trois pour Ariane – ce qui multiplie les coûts de production –, un second étage très puissant et un premier étage réutilisable. Le concept de Space X « *fonctionne ainsi très bien* » et « *fait des émules en Chine, en Inde, et même chez Blue Origin* ».

En effet, lorsque le lancement d’Ariane 6 a été décidé, en 2014, il a été décidé d’aller au plus vite pour faire face à la perte de compétitivité d’Ariane 5, dont le délégué général pour l’armement a indiqué que chaque lancement coûte 200 millions d’euros en comptant toutes les subventions d’exploitation. Or, pour « faire vite », il a fallu « faire avec » les moteurs existants, car c’est la motorisation qui demande les plus longs développements dans un programme de lanceur. Par conséquent, Ariane 6 n’a pas été développée avec des moteurs réutilisables. Selon les explications de M. Alain Charneau, un moteur doit présenter des caractéristiques très particulières pour être récupérable, compte tenu des échauffements et autres contraintes physiques. En effet, entre la poussée nécessaire au décollage et celle nécessaire à l’atterrissage, il y a un rapport s’établissant entre un pour trente et un pour cinquante. Or l’Europe ne produit pas de moteur à poussée variable.

## **2. Des enjeux de souveraineté industrielle qui intéressent la défense**

L’émergence du *New Space* et ses conséquences sur les conditions de compétitivité de la base industrielle et technologique sur laquelle s’adossent nos capacités spatiales de défense revêtent des enjeux de souveraineté majeurs.

### **a. Les applications militaires possibles des technologies du New Space**

- *Un avantage bien compris par les États-Unis*

Les rapporteurs ont pu constater à Washington que le *Department of Defense* suit de près les développements technologiques du *New Space*.

M. John Hill, directeur général de la politique spatiale du Département, son adjointe et son assistant militaire ont présenté les développements du *New Space* comme « **une grande opportunité pour les armées** ». Établissant expressément un parallèle avec l’industrie numérique, M. John Hill a expliqué que le *Department of Defense* considère que l’enjeu de ces développements industriels consiste, pour lui, à savoir « **employer ces technologies nouvelles de façon plus efficace que ne le feront la Russie et la Chine** ».

S'il juge « *irréalistes* » certains projets, comme la conquête de Mars, M. John Hill s'est montré nettement moins sceptique envers d'autres ambitions, comme la conquête de la Lune ou encore l'exploitation de ressources minières extra-atmosphériques. À ce propos, il n'a d'ailleurs pas exclu que ce soit là un des buts de la mission chinoise d'établissement sur la face cachée de la Lune, ce qui ne peut que susciter l'intérêt des États-Unis dans un contexte de tensions sino-américaines.

Selon les explications de M. John Hill, vis-à-vis de nombre de projets du *New Space*, le *Department of Defense* pourrait trouver inconvenient à laisser les industriels privés conduire des projets et accumuler des connaissances scientifiques et technologiques qu'il pourrait préférer voir rester secrètes. Mais, a-t-il fait valoir, que les industriels américains conduisent ou non les projets en question, la Russie et la Chine s'y lanceront. Aussi, pour le *Department of Defense*, la meilleure posture vis-à-vis du *New Space* consiste-t-elle à « **accompagner les industriels américains** » dans leurs projets – **sans nécessairement les financer** –, puis à « **les empêcher de travailler avec la Russie et la Chine** ». Ainsi, pour lui, le *Department of Defense* pourra tirer avantage des projets qui réussiront, sans avoir à y consacrer des ressources budgétaires.

En outre, la *Defense Advanced Research Projects Agency* (DARPA) conduit en lien avec les laboratoires américains des travaux sur les technologies de **rendez-vous dans l'espace** et sur les « **opérations de proximité** » en orbite. Ces travaux, selon les explications de M. John Hill, devraient permettre **d'établir des bonnes pratiques, voire des normes, définissant les « comportements normaux » dans l'espace**, ce qui devrait permettre d'éviter méprises et fausses interprétations de certains mouvements et des intentions de leur auteur – et, *a contrario*, d'identifier plus aisément un mouvement inamical. On rappellera par ailleurs que la DARPA a été fondée précisément en réaction à l'avance technologique prise par les Soviétiques dans le domaine spatial.

- *Une opportunité et un défi pour la France*

Tirer parti des technologies du *New Space* revêt naturellement autant d'intérêt pour les armées françaises que pour les forces américaines.

Les rapporteurs soulignent néanmoins une différence : le *Department of Defense* peut d'autant plus aisément suivre les développements des industriels privés du *New Space* que ceux-ci sont pour l'essentiel américains ; à ce titre, leurs exportations peuvent être contrôlées. Pour une puissance comme la France, qui n'est pas l'épicentre du phénomène industriel qu'est le *New Space*, l'appropriation de ses innovations suppose d'abord que la base industrielle et technologique française les assimile et, pour ce faire, l'État doit la stimuler.



### ***b. La situation particulière des lanceurs***

- *Un risque sérieux pour les aspects souverains de l'industrie du lancement*

La perte de compétitivité d'Ariane 5 et les perspectives de moindre compétitivité d'Ariane 6 par rapport aux lanceurs réutilisables fait peser un risque sur le modèle économique des lanceurs européens et donc, *in fine*, sur les volets institutionnels de ce modèle : l'accès autonome à l'espace et les technologies utiles à la dissuasion.

**M. Joël Barre a d'ailleurs fait part de son inquiétude sur la situation des lanceurs Ariane**, faisant valoir que l'autonomie d'accès à l'espace reste « *éminemment stratégique* ».

M. Alain Charmeau a insisté sur l'intérêt très clair qu'a la France à investir rapidement afin de prendre des positions fortes dans les techniques de récupération du premier étage des lanceurs, non seulement en raison de la concurrence internationale, mais surtout en raison du **fort degré de dualité des compétences entre les technologies concernées et les futurs objets militaires porteurs des têtes nucléaires**. À cette fin, Ariane Group propose un démonstrateur de premier étage de fusée propulsée par le moteur réutilisable Prometheus, qui fait l'objet d'un projet de R&D conjoint avec le CNES ; ce projet de démonstrateur est appelé Thémis. Ces briques technologiques pourraient être intégrées par incrément à Ariane 6 et intégrées à son successeur, Ariane Next. Elles doivent faire l'objet d'une **décision de financement lors de la prochaine conférence ministérielle de l'Agence spatiale européenne en 2019**.

- *Pourquoi faut-il poursuivre Ariane 6 ?*

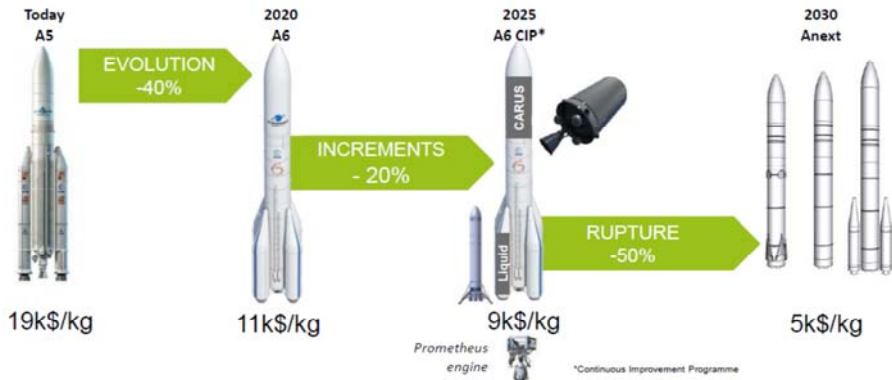
**L'idée d'abandonner Ariane 6 pour passer directement à Ariane Next, qui serait très largement inspirée des lanceurs de Space X, mérite d'être écartée.**

Comme l'a fait valoir M. Joël Barre, miser sur un moteur – Prometheus – encore en développement et pas encore testé induirait un risque considérable compte tenu des délais de développement – dont il n'envisage pas le terme avant l'horizon 2030 – et du coût d'un tel développement. En outre, il faudrait réunir l'accord des autres Européens avant d'envisager un tel revirement stratégique.

- *Des efforts de redressement de la compétitivité d'Ariane 6*

De façon générale, M. Alain Charmeau a expliqué qu'Ariane Group s'est fixé pour objectif de diviser par quatre le coût de l'accès à l'espace, appréhendé comme le coût par kilogramme lancé, entre Ariane 5 et la génération de fusées des années 2030, comme le présente le schéma ci-après.

### LA FEUILLE DE ROUTE ÉTABLIE PAR ARIANE GROUP EN VUE DE RÉDUIRE LE COÛT DES LANCEMENTS



Source : Ariane Group.

Dans ce but, M. Alain Charmeau a expliqué notamment les **enjeux du développement d'un rideshare** – c'est-à-dire un équipement permettant d'emporter sous la coiffe d'Ariane 6 plusieurs microsattellites à mettre en orbite – pour Ariane 6. Les microsattellites représentent en effet le segment de marché le plus compétitif ; or plus le lanceur est grand, plus le prix du lancement au kilogramme ainsi placé en orbite est faible. À l'inverse, développer un lanceur, même léger, spécifique à une mission coûterait assurément plus cher. Pour assurer une rentabilité, il faut donc une cadence et une disponibilité élevées que pourrait à terme offrir un lanceur réutilisable. Mais dans l'intervalle, le *rideshare* est donc la solution la moins onéreuse pour le lancement de microsattellites.

- *Des travaux à engager pour l'après-Ariane 6*

Ne réfutant pas le constat d'un net retard des Européens dans le développement des technologies de réutilisation de lanceurs ou de lanceurs adaptés aux besoins des petits satellites, le président-directeur général de l'ONERA a jugé que cette « *attitude attentiste de l'Europe spatiale* » pouvait encore « *être corrigée* ».

À ses yeux, « *à l'évidence* », le programme Ariane 6 doit être conduit à son terme, ne serait-ce que parce que le projet est aujourd'hui trop avancé pour être abandonné. Mais, pour lui, **rien n'empêche de s'en tenir pour Ariane 6 à une série relativement limitée en nombre et de commencer à développer sans tarder des techniques nouvelles**, par exemple en matière de **recupération** d'éléments et de substitution de techniques innovantes à celle, coûteuse, de la cryogénisation. Une telle préparation a d'ailleurs commencé avec les initiatives industrielles comme Themis et Adeline pour le lanceur ou Prometheus pour les moteurs.

Une des pistes prometteuses consiste selon M. Bruno Sainjon à **incorporer de plus en plus de technologies issues du transport aérien** dans le

monde du spatial. En effet, l'aéronautique, du fait de coûts très contraints par son modèle économique, de la fiabilité qu'il doit démontrer en permanence et de son utilisation massive, « *a beaucoup à apporter au transport spatial* » : là où le transport aérien est depuis longtemps un bien d'usage, le lancement spatial demeure très déterminé par son histoire. En particulier, l'industrie aéronautique a développé des stratégies de surveillance de l'état des appareils afin d'en optimiser la maintenance préventive. De même, les succès américains dans le *New Space* sont dus à des innovations en matière de procédés de fabrication de certains composants des lanceurs, tels que les moteurs, et de la chaîne de production des lanceurs eux-mêmes. D'ailleurs, Dassault conduisait des recherches dans le secteur spatial – Pegasus en témoigne – puis s'en est détaché, avant d'y revenir aujourd'hui, ce qui est cohérent avec les enjeux technologiques des objets spatiaux réutilisables, qui ont tendance à converger avec ceux de l'aéronautique.

• Dans cette optique, les propositions de recherche formulées par l'ONERA sont articulées autour :

– du développement de **solutions à bas coût de diagnostic des structures** et des systèmes propulsifs ;

– de la recherche d'une **garantie de haut niveau de fiabilité de récupération des étages** par des stratégies de retour au sol sollicitant aussi peu que possible les structures ;

– du **développement de méthodes de fabrication industrielle** propres à réparer les éléments sur lesquels des défauts ont été identifiés ;

– de la **définition d'une maintenance inspirée des pratiques de l'aéronautique** ;

– d'une recherche de **simplification des procédés de fabrication**.

- *Des réflexions à conduire pour répondre aux besoins de lancement d'objets légers*

Pour M. Alain Charneau, *rideshare* représente le moyen de lancement le moins cher pour le remplacement d'un satellite en urgence. En effet, Ariane Group envisage neuf à dix lancements d'Ariane 6 par an. Aussi, dès lors que l'analyse de missions en confirme la faisabilité, les capacités d'emport restantes constituent-elles une réserve disponible sur court préavis et au coût marginal du lancement. Ce développement intéresse donc la défense pour le lancement d'objets légers, dans la double mesure où il dispense de développer un lanceur spécifique et où ses frais de développement et de production pourront être pris en charge dans le cadre des programmes civils.

À l'inverse, pour M. Bruno Sainjon, il serait « *parfaitement envisageable* » de développer un lanceur réutilisable consacré aux minisatellites.

C'est pourquoi l'ONERA propose d'étudier un lanceur aéroporté réutilisable, dont l'encadré ci-après présente le concept.

### CONCEPT DE LANCEUR AÉROPORTÉ RÉUTILISABLE

Selon les explications du président-directeur général de l'ONERA, un lanceur aéroporté réutilisable pourrait être composé :

– d'un **premier étage réutilisable de type aéronautique**, c'est-à-dire d'un drone, dans la droite ligne des démonstrateurs Éole et Altair ;

– d'un **deuxième étage réutilisable** utilisant quasi exclusivement la propulsion fusée principale pour la mission de retour ou d'un étage ailé, susceptible de planer ;

– d'un **troisième étage, réutilisable ou non, pouvant servir de relais** pour la mise en orbite avec un système de type *Space Tug*.

Un tel lanceur aéroporté serait adapté à des satellites de petite taille. Dans le cadre du **projet Altair**, un démonstrateur de drone emportant à 10 000 ou 12 000 mètres d'altitude un petit lanceur classique sera **testé à Kourou en 2019**. M. Bruno Sainjon a précisé que, dans ce projet, l'enjeu tient moins au porteur aéroporté, dont l'essentiel est qu'il permette de s'affranchir du besoin de pas de tir et des conditions météorologiques au sol, qu'au fait **qu'un lancement sera plus efficace à 12 000 mètres** car la pression atmosphérique est moindre à cette altitude qu'au sol. En plus du drone, réutilisable, au moins un des étages du lanceur le serait également ; « *on peut même imaginer en faire en partie une navette* ».

Altair est basé sur un concept appelé Éole, dont l'étude a été financée par le CNES. C'est parce que le CNES était soucieux du plan de charge de Kourou que l'ONERA y lancera Altair, mais à terme, un tel matériel pourrait décoller de différents types de pistes.

Une étude multidisciplinaire devra être mise en œuvre pour identifier la viabilité du concept et pour estimer les performances de celui-ci ainsi que sa fiabilité. Cette première phase du projet doit aboutir à la définition d'un concept de référence permettant de mener des études technologiques visant à réduire les coûts.

## B. UNE DÉPENDANCE CROISSANTE AUX MOYENS SPATIAUX, FACTEUR DE VULNÉRABILITÉS NOUVELLES

De la même façon que, du point de vue opérationnel comme du point de vue organique, nos armées sont devenues largement dépendantes des moyens numériques, l'utilisation croissante des moyens spatiaux peut être vue comme créant pour elle une dépendance. Compte tenu des menaces et des risques inhérents à l'espace, cette dépendance constitue une vulnérabilité qu'il convient de maîtriser.

### 1. Les opérations militaires sont désormais très dépendantes des moyens spatiaux

#### a. Dès à présent, les moyens spatiaux sont indispensables à la planification et à la conduite des opérations

Pour le renseignement, pour les transmissions entre les différents échelons de la chaîne de commandement et les acteurs sur les théâtres d'opérations comme

pour le guidage de certaines armes, les moyens satellitaires sont d'ores et déjà largement employés dans les armées.

À titre d'exemple, les rapporteurs se sont fait présenter par le lieutenant-colonel Thierry Cattaneo la fonction **d'appui spatial aux opérations** qu'assure le COSMOS, ainsi que chacun des postes d'analyse et de contrôle de ce centre qui y concourent. Prenant l'exemple d'un raid aérien, le commandant du COSMOS a démontré que l'appui spatial est des plus utiles à toutes les phases d'une telle opération. Cet appui consiste notamment à :

– fournir des **prévisions de survol de la zone d'opération par des moyens satellitaires étrangers** et évaluer ainsi le risque de captation du renseignement sur les activités militaires française en cours par des satellites adverses ou tiers ;

– **évaluer la qualité des services spatiaux et en particulier de la dilution de la précision du GPS** dans les zones d'opérations. Le lieutenant-colonel Thierry Cattaneo a montré aux rapporteurs comment le COSMOS anticipe puis suit quasiment en temps réel le niveau de dilution de la précision du GPS, que ce soit du fait de facteurs techniques liés aux passages des satellites ou de la configuration du terrain au sol, et développe l'analyse de risques de corruption du signal de façon involontaire ou non. Sur la base de son analyse de la fiabilité du GPS, le COSMOS peut **conseiller aux commandants opératifs** de ne pas recourir à des armes guidées par le GPS, le choix revenant bien entendu aux commandements opérationnels. Il opère les mêmes analyses sur les routes aériennes ou maritimes envisagées pour des mouvements d'aéronefs ou de navires ;

– fournir des éléments de **météorologie de l'espace**, concernant notamment la pression des vents solaires, qui modifie les orbites, et l'activité de surface et les événements éruptifs qui peuvent « bruite », perturber ou dévier les fréquences radio utilisées par les armées. Le lieutenant-colonel Thierry Cattaneo a présenté aux rapporteurs les radiohéliographes et autres outils informatiques développés à cette fin par les personnels du COSMOS avec le soutien de la mission « innovation participative » de la DGA. Les analyses sont faites en temps réel et leur accumulation permet de dégager des tendances météorologiques sur la base de calculs de probabilité.

Ainsi, les moyens spatiaux fournissent aujourd'hui un appui crucial dans les opérations. Lorsqu'ils ne sont pas disponibles, c'est « en mode dégradé » que doivent être conduites les opérations, ce qui induit des pertes de capacités opérationnelles.

C'est en ce sens que le général Philippe Lavigne, chef d'état-major de l'armée de l'air, a fait devant les rapporteurs le diagnostic d'une « **hyper-dépendance de la société et des armées en particulier aux moyens spatiaux** », le général évoquant l'exemple du GPS et rejoignant en cela le général Jean-Pascal Breton, qui, alors qu'il exerçait les fonctions de commandant

interarmées de l'espace, avait démontré devant la commission<sup>(1)</sup> que « **les télécommunications satellitaires sont une capacité clé de l'autonomie de décision et d'action de nos forces armées** », notamment en raison de l'étendue et de l'éloignement de nos théâtres d'opérations, qui nécessitent des moyens de transmissions de longue distance entre Paris et ces vastes zones. Ce constat vaut d'ailleurs pour toutes les armées dont l'ascendant opérationnel repose sur l'avance technologique. Ainsi, le *Congressman* Mike Rogers, président de la sous-commission des forces stratégiques de la commission des forces armées de la Chambre des représentants à la date du déplacement des rapporteurs à Washington, a reconnu que la dépendance des États-Unis à leurs moyens spatiaux est générale, touchant tous les secteurs d'activité – système financier, loisirs, transports, etc. –, y compris les forces armées. Pour celles-ci, la dépendance aux moyens spatiaux concerne tous types d'activités, des forces nucléaires au guidage des missiles en passant par les activités de *Command and Control* les plus quotidiennes.

***b. L'évolution annoncée des technologies militaires tend à accroître encore la dépendance des armées***

Comme le souligne un récent rapport d'information de notre commission<sup>(2)</sup>, la « révolution numérique » conduit les armées à exploiter les possibilités de « combat collaboratif » dans tous les milieux et à transformer en ce sens l'architecture de nos capacités militaires. Le programme SCORPION ou le projet de système de combat aérien futur (SCAF), par exemple, reposent sur l'interconnexion de tous types de plateformes au sein d'une « bulle » de combat constituée autour de moyens de transmission et de traitement des informations.

Or, l'interconnexion des différentes plateformes et la constitution de « bulles » d'information autour des unités déployées reposent en partie sur des moyens de télécommunications satellitaires ; en outre, la planification et la conduite des opérations reposent sur l'exploitation de masses de renseignements de toute origine, provenant pour une part de satellites. Ce rapport conclut ainsi que « **la numérisation croissante du combat accroîtra assurément notre dépendance aux moyens satellitaires** ».

**2. Compte tenu des risques et des menaces croissants dans l'espace, la dépendance aux moyens spatiaux crée des vulnérabilités nouvelles**

La dépendance croissante des armées aux moyens spatiaux les expose à des risques pesant sur tous les maillons de la chaîne des capacités spatiales.

---

(1) Assemblée nationale, commission de la Défense nationale et des forces armées, réunion du 20 décembre 2017, audition du général Jean-Pascal Breton, commandant interarmées de l'espace, compte rendu n° 24.

(2) Rapport d'information n° 996 fait par MM. Olivier Becht et Thomas Gassilloud sur les enjeux de la numérisation des armées, 30 mai 2018.

*a. Des risques de toute nature*

Le président du CNES a présenté aux rapporteurs son analyse de la réalité, de la probabilité et de la gravité des risques pesant sur les capacités spatiales.

i. Le risque de déni de service

Concernant le risque de déni de service, que l'interruption de service soit fortuite ou délibérée, M. Jean-Yves Le Gall a expliqué que les systèmes orbitaux sont des engins complexes soumis à un **environnement agressif** et aux **risques de collision** propres à l'espace exo-atmosphérique. Ils ont été conçus dans cette perspective et les opérateurs, notamment le CNES, ne sont pas totalement démunis pour rétablir des fonctionnalités altérées en orbite. Une mise hors service définitive ne peut néanmoins pas être exclue, comme ce fut le cas pour le démonstrateur militaire Cerise en 1996 à la suite d'une collision avec un débris.

**Des actions délibérées de déni de service ou d'interruption définitive de service sont également possibles.** Des opérateurs de satellites de télécommunications ont par exemple déjà constaté sur certaines de leurs plateformes des actions de piratage visant à s'approprier une fréquence dans le but de diffuser un programme non autorisé. Les satellites militaires de télécommunications sont, en revanche, fortement protégés vis-à-vis de toute tentative d'intrusion ou de brouillage.

ii. Le risque d'espionnage

La ministre des Armées elle-même a employé le terme d'espionnage lors de son discours du 7 septembre 2018 à Toulouse pour qualifier le but des manœuvres du satellite russe Luch-Olymp à proximité d'Athena-Fidus. M. Jean-Yves Le Gall a confirmé qu'il est **théoriquement possible de s'approcher d'un satellite en orbite avec une autre plateforme dotée d'équipements permettant l'écoute, la prise de vue ou le brouillage.**

Sur l'arc géostationnaire, une telle opération est réalisable « *sans difficulté excessive* » et plusieurs pays disposent des capacités et des compétences requises pour la conduire. Il est dès lors important de maintenir la capacité d'identifier de tels rapprochements, comme le CNES l'a notamment fait dans le cas évoqué dans le discours sur l'espace de la ministre des Armées. Dans les orbites basses, compte tenu de la multiplicité des plans orbitaux, la situation est toute autre et ce type d'opérations apparaît nettement moins probable.

iii. Le risque d'actes offensifs

Un nano-satellite voire un engin explosif qui s'approcherait d'un autre satellite pour le heurter serait « **difficile à parer** ». Mais M. Jean-Yves Le Gall a fait valoir que s'en prendre à l'intégrité physique d'un satellite fait courir un risque important de création de débris spatiaux qui représentent un danger pour tous les systèmes orbitaux, y compris ceux appartenant à l'agresseur. Cette donnée

contribue à **réduire la probabilité** qu'un acte offensif dans l'espace prenne la forme d'un tir de destruction. En outre, les réalités de la mécanique spatiale compliquent singulièrement la réalisation d'actions offensives dans les orbites basses.

Les risques d'actes offensifs à l'encontre d'un satellite sont donc les plus importants **en orbite haute et sous une forme non destructrice**, M. Jean-Yves Le Gall citant plusieurs techniques théoriquement envisageables : impulsion électromagnétique, faisceaux de micro-ondes, brouillage, tir laser, ou dégradation de certains composants de la plateforme. De manière allusive, il a mentionné le cas d'un satellite européen qui s'est brutalement arrêté de fonctionner sans aucun signe avant-coureur il y a quelques années, précisant que pour des systèmes comportant autant de redondances qu'un tel satellite, une panne totale, abrupte et inexpliquée était hautement improbable.

Ce risque est perçu comme particulièrement sérieux par ces autorités américaines. Ainsi, M. Michael Beavin, directeur de la politique commerciale spatiale du *National Space Council* à la Maison-Blanche a jugé que ces menaces vont croissant, faisant valoir que :

– certaines puissances ont déjà démontré leur **capacité à brouiller ou à neutraliser de façon temporaire des satellites**. Même dans le cas où le satellite ciblé était civil, il peut s'agir d'un satellite fournissant des services aux armées ;

– plus encore, en 2007, **les Chinois ont démontré leur capacité à détruire un satellite** avec un missile, et les États-Unis l'ont fait un an plus tard. D'autres moyens de neutralisation définitive sont envisageables, par exemple avec des armes à énergie dirigée et si les lasers ne sont pas opérés aujourd'hui depuis l'espace, c'est faute de source d'énergie suffisante en orbite ;

– en outre, l'espace devient, avec le cyber, une **source majeure de vulnérabilité qui pourrait être exploitée par des acteurs asymétriques** : en conséquence, « *avec des moyens d'action cybernétiques ou spatiaux, nul besoin de flotte ou de blindés pour infliger des dommages considérables à une puissance occidentale, notamment à ses armées* ».

#### iv. Le risque cybernétique

Selon M. Jean-Yves Le Gall, **le principal risque est celui d'une attaque informatique de la chaîne de contrôle** d'un satellite pouvant aller jusqu'à sa prise de contrôle. Il est néanmoins parfaitement identifié et pris en compte par des mesures de protection adaptées.

#### *b. Des vulnérabilités concernant l'ensemble des segments des systèmes orbitaux*

Le directeur de la politique commerciale spatiale du *National Space Council* a fait valoir que la vulnérabilité des organisations civiles et militaires, qui



va croissant avec leur dépendance aux systèmes satellitaires, concerne non seulement les segments en orbite des systèmes satellitaires, mais **aussi leurs segments au sol**, « *tant il est vrai que certains segments au sol sont moins redondants et moins protégés que d'autres* ». Comme le détaille l'encadré ci-après, il y a en effet un *continuum* géographique dans les systèmes orbitaux, qui peuvent présenter des vulnérabilités à tous les échelons.

#### LE CONTINUUM GÉOGRAPHIQUE DANS LES SYSTÈMES ORBITAUX

M. Benoît Hancart, directeur des relations institutionnelles de Thales Alenia Space, a expliqué le *continuum* géographique existant dans les technologies spatiales :

– « ***tout commence au sol*** », ne serait-ce que pour piloter les satellites. D'ailleurs, à ses yeux, les évolutions prévisibles des technologies spatiales pourraient faire peser de plus en plus d'enjeux sur les équipements au sol qui deviendront un élément crucial pour la gestion de l'intelligence à bord ainsi que l'optimisation des capacités, notamment énergétiques, des satellites ;

– à 20 kilomètres d'altitude, le ballon stratosphérique (comme le Stratobus développé par Thales Alenia Space) ou un planeur (comme le Zéphyr développé par Airbus Defence & Space) pourraient opérer des missions de surveillance, de télécommunications ou de navigation. Selon Thales Alenia Space, sept appareils de type Stratobus suffiraient d'ailleurs à surveiller en permanence la Méditerranée ;

– à 400 kilomètres d'altitude navigue la station spatiale internationale ;

– entre 400 kilomètres et 900 kilomètres d'altitude gravitent notamment les satellites d'observation ;

– entre 700 et 8 000 kilomètres se trouve les seules constellations de satellites de télécommunications aujourd'hui opérationnelles comme Globalstar 2, O3b et Iridium, toutes conçues et développées par Thales Alenia Space ;

– à 20 000 kilomètres d'altitude se trouve l'orbite de référence des différents systèmes de géolocalisation ;

– à 36 000 kilomètres d'altitude, l'orbite est dite géostationnaire car les satellites qui y circulent se trouvent en permanence au-dessus des mêmes points de la Terre, ce qui permet de les cibler en permanence. Selon les explications de Thales Alenia Space, cette orbite est donc particulièrement utile aux opérateurs de satellites de télécommunications, qui ne possèdent de droits que sur certains territoires particuliers ; ils ont donc intérêt à pouvoir concentrer leurs capacités de transmissions au-dessus des seules zones de la Terre où ils offrent leurs services ;

– au-delà de 36 000 kilomètres d'altitude, les systèmes en orbite sont surtout des outils scientifiques.

C'est ainsi sur l'ensemble des segments des systèmes orbitaux que doit être appréciée la vulnérabilité des moyens spatiaux.

M. Philippe Coq a d'ailleurs expliqué qu'Airbus Defence & Space a consacré des études approfondies à la résilience des systèmes spatiaux, civils comme militaires, contre tous types de risques, d'origine naturelle, accidentelle ou intentionnelle. Selon lui, ces études gagneraient à être poursuivies par des exercices de simulation de grande ampleur.



## **SECONDE PARTIE : IL EST TEMPS QUE SOIT ÉLABORÉE UNE VÉRITABLE STRATÉGIE DE DÉFENSE SPATIALE**

Hier « terrain de jeu » des rivalités de puissances en quête de prestige, aujourd'hui outil de soutien aux opérations militaires conduites dans les autres milieux – la terre, la mer et l'air –, l'espace est en passe de devenir un milieu de confrontation stratégique à part entière. Qu'on en approuve le principe ou qu'on le dénonce, qu'on l'assume ou qu'on le taise, c'est un fait : l'espace est en voie d'arsenalisation.

Aux yeux des rapporteurs, il n'est pas exagéré de qualifier ce mouvement de rupture stratégique.

Compte tenu de ses enjeux pour la défense des intérêts fondamentaux de la France, cette situation appelle donc l'affermissement d'une véritable stratégie de défense spatiale, pour laquelle les rapporteurs formulent certaines propositions.

### **I. LES ÉVOLUTIONS PRÉVISIBLES DU CONTEXTE SPATIAL APPELLENT UNE VÉRITABLE STRATÉGIE DE DÉFENSE SPATIALE**

Le contexte stratégique, dans l'espace, est marqué par la prolifération des moyens spatiaux et la multiplication des acteurs – qu'il s'agisse d'États ou non –, ainsi que par une transformation de ses usages par les armées. En effet, si l'espace a toujours été utilisé à des fins militaires, c'était dans une logique de soutien aux opérations à terre, sur mer ou dans l'air ; désormais, il apparaît clairement que les puissances spatiales envisagent l'espace comme étant également un milieu de confrontation à part entière.

Cette situation appelle l'élaboration d'une véritable stratégie de défense spatiale, c'est-à-dire, en premier lieu, d'une doctrine, dont doivent découler dans un second temps une programmation capacitaire et des adaptations organiques.

#### **A. L'ESPACE, MARQUÉ PAR DES RISQUES CROISSANTS, DEVIENT UN MILIEU DE CONFRONTATION STRATÉGIQUE**

L'abaissement des barrières technologiques résultant des évolutions récentes de l'économie spatiale a eu un triple effet :

– il a ouvert l'accès à l'espace à un nombre croissant d'États, voire d'autres acteurs, comme les grandes firmes du *New Space* qui prennent à leur compte des ambitions d'une portée telle que, dans le passé, elles étaient le fait des seules agences spatiales ;

- il a induit une croissance exponentielle du nombre d’engins en orbite ;
- il a permis le développement d’engins de types nouveaux, pour des usages nouveaux et potentiellement inamicaux.

## 1. La prolifération des moyens spatiaux et la densification des orbites

### a. *Le nombre d’acteurs spatiaux va croissant*

De nouveaux États développent des capacités spatiales, moins en matière de fabrication de lanceurs et de satellites – ce qui reste, pour l’heure, l’apanage de sept puissances : les États-Unis, la Chine, la France, la Russie, le Japon, l’Inde et Israël – que de possession de satellites. Aujourd’hui, **60 à 70 des 197 États membres de l’ONU disposent d’au moins un satellite en orbite**. En outre, a ajouté le général Michel Friedling, **une quarantaine de nations possèdent ou sont en passe de posséder un programme de lanceurs** ; il en a tiré la conclusion que l’accès à l’espace n’est plus un critère de puissance discriminant.

De surcroît, comme l’a fait valoir le lieutenant-colonel Thierry Cattaneo, commandant le COSMOS, avec le développement d’offres commerciales de services satellitaires, « *tout le monde peut acquérir des images de renseignement satellitaire optique sur internet* ». Ainsi, en réalité, **la possession d’engins spatiaux est de plus en plus répandue et l’usage des services spatiaux est d’ores et déjà généralisé**.

En outre, l’accès à des services satellitaires commerciaux permet à des groupes non-étatiques de disposer aisément de moyens de haute technologie réservés, il y a quelques décennies, aux puissances les plus développées. Il en va ainsi, notamment, des systèmes de géolocalisation : rien n’empêche un groupe terroriste d’utiliser le GPS.

### b. *La densification des orbites accentue les risques de collisions*

- *Le nombre d’engins en orbite progresse de façon exponentielle*

Au COSMOS, les rapporteurs se sont fait présenter la situation spatiale et son évolution. Le lieutenant-colonel Thierry Cattaneo leur a présenté une image comparant la géographie des engins en orbite en 1960 et en 2018, qui illustre de façon marquante la densification des orbites. En effet, **on compte aujourd’hui 1 500 objets actifs en orbite, et leur nombre devrait atteindre au moins 8 000 dans dix ans**. Les perspectives de développement de grandes constellations accentuent en effet la tendance à la densification des orbites et leur architecture même, qui mettent en réseau un nombre parfois très élevé de satellites, fait peser des contraintes supplémentaires dans la gestion du trafic spatial.

De surcroît, les lancements, les pannes et accidents, la dérive des satellites hors d’usage, les collisions et un cas de destruction volontaire d’un satellite par la Chine ont créé une masse de débris, principalement en orbite basse. Selon le

COSMOS, ces débris se comptent en dizaines de milliers pour les objets de plus de dix centimètres de diamètre, et en centaines de milliers pour les objets de plus d'un centimètre. Ces débris sont tous susceptibles de provoquer des dégâts irréversibles, « létaux », à nos satellites, voire de provoquer des collisions catastrophiques, potentiellement génératrices de débris par réaction en chaîne. Si l'on peut se protéger des plus massifs – ceux de plus de dix centimètres – suivant « une logique “voir et éviter” », il est actuellement impossible de se soustraire au danger que font peser les débris de la seconde catégorie – ceux d'un à dix centimètres –, en raison des limites de performance de nos capteurs.

- *Un défi pour la surveillance de l'espace*

Avec la prolifération des moyens spatiaux en orbite et leurs capacités croissantes de manœuvre, la surveillance de l'espace requiert des capacités de traitement sans cesse croissantes. Pour illustrer les conséquences de ce phénomène, le lieutenant-colonel Thierry Cattaneo a indiqué que **le territoire français est survolé environ 10 000 fois par jour par des objets spatiaux.**

La miniaturisation des objets spatiaux et la nécessaire surveillance des débris conduisent aussi à **multiplier le nombre d'objets à surveiller.** Ainsi, le catalogue public américain, qui recense déjà 20 000 objets, pourrait en recenser bientôt 300 000, quand la précision des outils de surveillance américains atteindra un centimètre environ, ainsi qu'il est prévu.

- *Des risques de collision*

La saturation des orbites d'intérêt pour les applications spatiales militaires comme civiles ainsi que la prolifération des débris et la croissance prévisible du nombre d'objets en orbite, y compris des engins manœuvrants, ont pour conséquence logique une aggravation des risques de collision.

## **2. L'espace est non seulement militarisé, mais son arsenalisation paraît inexorable**

Dans ce contexte, l'arsenalisation de l'espace constitue une tendance de fond qui représente un risque. Comme l'a précisé le commandant interarmées de l'espace, on distingue :

- la notion d'« arsenalisation » de l'espace, c'est-à-dire le fait d'y placer des armes, ce qui constitue « *un phénomène nouveau et récent* » ;

- de celle de « militarisation » de l'espace, c'est-à-dire son usage à des fins militaires, ce qui « *se pratique depuis longtemps déjà* ».

### **a. La militarisation de l'espace est un fait déjà ancien**

Si l'on entend par « militarisation » de l'espace l'usage de celui-ci à des fins militaires, même dans les conditions définies par l'*Outer Space Treaty*,

l'espace apparaît comme **un milieu militarisé depuis le début de la conquête spatiale**. Comme l'a fait valoir le lieutenant-colonel Thierry Cattaneo, même le lancement de Spoutnik a bien été compris en ce sens : non que la capsule ait présenté un caractère militaire, mais le lanceur préfigurait déjà les armes balistiques intercontinentales.

Le colonel François-Marie Gougeon, sous-directeur de la stratégie de défense à la direction générale des relations internationales et de la stratégie (DGRIS) du ministère des Armées, et M. Frédéric Planchon, son conseiller pour les affaires spatiales, ont d'ailleurs rappelé qu'en 1958, l'ONU avait adopté une résolution prévoyant l'usage « *exclusivement pacifique* » de l'espace, mais qu'à l'initiative des Soviétiques et des Américains, l'adverbe « *exclusivement* » a été retiré dès 1959, signe selon eux que la militarisation de l'espace n'a jamais été exclue.

Aujourd'hui, certaines puissances possèdent des flottes de satellites militaires très importantes. Le commandant interarmées de l'espace a donné aux rapporteurs les indications suivantes :

– les Américains opèrent près de 300 satellites d'usage gouvernemental actifs et « *investissent massivement* » ;

– les Russes opèrent près de 200 satellites à usage militaire, disposent de tout le panel des capacités et « *redynamisent leur politique* » ;

– les Chinois possèdent plus de 200 satellites à usage militaire, couvrant la gamme complète des capacités ; surtout, leur politique spatiale est « *très dynamique* », comme en témoigne le fait que la moitié de leurs satellites a été lancée « *ces dernières années* ». ;

– l'Inde possède environ 40 satellites d'usage gouvernemental.

En outre, sans violer le principe de non-arsenalisation de l'espace établi par le droit international, qui prohibe principalement les armes nucléaires en orbite, **un nombre croissant de puissances possède des capacités militaires dans l'espace**. Tel est même le cas, *a fortiori*, pour des capacités duales comme le GPS. Comme l'a fait valoir aux rapporteurs M. Michael Beavin lors de leur déplacement à la Maison-Blanche, le cas du GPS « *montre combien programmes publics et privés s'interpénètrent* » : programme militaire, il a connu de nombreuses applications civiles. Il en va de même des satellites d'imagerie optique spatiale ou de télécommunications : selon M. Michael Beavin, 80 % des télécommunications militaires passent par des satellites privés. Aussi, pour savoir si un satellite entre ou non dans la catégorie des *Military Space Assets*, le *Department of Defense* considère non la nature de son propriétaire, mais son niveau de criticité.

### ***b. L'arsenalisation de l'espace paraît inexorable***

Les rapporteurs ont constaté un décalage entre la perception générale des enjeux d'arsenalisation de l'espace, largement dénoncée dans les déclarations publiques, et la réalité des faits tels qu'ils leur ont été exposés par les autorités compétentes en matière de défense spatiale tant en France qu'aux États-Unis.

i. L'arsenalisation de l'espace est une réalité

- *Un phénomène croissant*

L'exploitation du système GRAVES a permis aux Français de détecter et de surveiller non seulement les satellites recensés par le catalogue des objets spatiaux publié par les Américains, mais aussi ceux et surtout qui n'y apparaissent pas, quelle que soit leur taille, leur gamme d'orbite, la prédictibilité de leur dynamique et la fréquence de leurs changements d'orbite.

De façon plus générale, les opérateurs du COSMOS signalent une **recrudescence des activités spatiales « douteuses » ou « suspectes »**. Dans leur surveillance, l'enjeu principal réside dans la **caractérisation** des manœuvres et autres activités des engins concernés. Pour ce faire, le COSMOS procède par agrégation de tous les moyens d'information disponible, à commencer par l'identité de l'opérateur du satellite en question ou celle de son fabricant, que révèle souvent leur architecture ou leur « couleur » chimique. Ses capacités d'analyse permettent d'établir des « *triptyques cohérents* » entre les performances d'un objet spatial, son orbite et sa mission.

Commentant les approches du satellite russe Luch Olymp autour d'Athena Fidus, M. Michael Krepon, cofondateur d'un influent *think-tank* de Washington, le *Stimson Center*, a expliqué que de telles manœuvres relèvent d'une catégorie appelée ***close proximity operations***. Toutes les puissances spatiales, selon lui, seraient capables de conduire de telles opérations, car les capacités de suivi (*tracking*) et de manœuvre qu'elles requièrent sont « *le quotidien des opérateurs de satellites* ». Ce type de manœuvre est de même nature que celle de navires de surface qui croiseraient près de bâtiments étrangers dans des eaux disputées ou en période de tensions, ou encore d'avions d'observation ou de combat volant au-dessus d'une zone adverse. De telles opérations peuvent ainsi poursuivre différents buts :

- recueillir du **renseignement** ;
- « **adresser un message** », c'est-à-dire un avertissement ;
- opérer des **interférences** dans les transmissions du satellite.

De même, MM. Todd Harrison, directeur des études relatives aux budgets militaires et à la sécurité aérospatiale du *think-tank Center for Strategic and International Studies* (CSIS) – centre d'études stratégiques et internationales – et

son collègue Thomas Karako, directeur des études relatives aux missiles, ont indiqué que, d'après leurs travaux, la Chine et de la Russie ont développé des capacités d'action dans l'espace, y compris « non-cinétique ». Pour eux, « *très clairement, la Russie utilise en Ukraine des brouilleurs altérant les faisceaux de données descendant vers la Terre et en a vendu à la Corée du Nord* ». S'agissant du brouillage des faisceaux ascendants de télécommunications, ils ont indiqué que des groupes terroristes ont réussi à brouiller des communications satellitaires reposant sur des moyens civils en Afghanistan et en Irak et que *Voice of America* a vu certaines de ses émissions brouillées par des moyens localisés à Cuba, dans une ambassade. Ils ont enfin rappelé que les Iraniens revendiquent l'emploi de moyens de *spoofing* – c'est-à-dire de manipulation d'instruments de façon à en fausser les résultats – pour abattre un drone américain ; si le *Department of Defense* ne l'a pas confirmé, la possibilité théorique d'une telle action a été démontrée par les chercheurs d'une université texane. De surcroît, le *New Space* a conduit à un abaissement des barrières technologiques et financières d'accès aux services spatiaux, qui permet à des acteurs non étatiques d'en utiliser.

- *Des activités rendues possibles par des technologies « disruptives »*

Les développements récents des technologies spatiales ont permis le développement d'engins propres à faciliter grandement la conduite d'actions militaires dans l'espace, y compris de nature militaire ou de portée « inamicale ».

Parmi ces technologies « disruptives » qui constituent des facteurs d'évolution significative de la situation spatiale, le lieutenant-colonel Thierry Cattaneo a cité les modes de **propulsion électrique** des satellites – que maîtrisent d'ores et déjà Américains, Chinois, Japonais et Français – ainsi que les **véhicules hyper-manœuvrants**.

- *Les véhicules hyper-manœuvrants*

On qualifie d'hyper-manœuvrant un engin spatial capable de changer rapidement et régulièrement d'orbite.

Parmi ces véhicules, le plus avancé est le **X37** américain, qui aurait d'ailleurs déjà largué deux objets et peut-être tenté d'en récupérer un.

Certes, M. Michael Beavin, directeur de la politique commerciale spatiale du *National Space Council* a affirmé aux rapporteurs que le X37 « *n'est qu'un satellite parmi d'autres, qui a pour seule spécificité de pouvoir revenir sur Terre* ». Mais selon les opérateurs du COSMOS, à son stade actuel de développement, cet engin d'environ dix mètres sur dix mètres peut être analysé comme ayant une **fonction de démonstrateur, voire d'engin de tests** en orbite, notamment pour l'évolution des engins spatiaux dans les altitudes les moins pratiquées aujourd'hui, entre 80 kilomètres et 400 kilomètres d'altitude. Il est



également possible que le X37 soit conçu comme une sorte de « couteau suisse » spatial, qui puisse servir :

– **d’arme anti-satellite**, notamment s’il venait à être équipé d’un bras articulé, ou d’arme à énergie dirigée (tel un laser) ;

– **d’engin de renseignement spatial** ;

– de **plateforme d’emport et de lancement de charges militaires**. Les rapporteurs ne peuvent pas exclure l’idée qu’un véhicule de ce type puisse même, un jour, emporter des missiles balistiques, ce qui serait d’ailleurs contraire au droit international dans sa rédaction en vigueur.

En tout état de cause, les engins hyper-manceuvrants offrent d’importantes possibilités d’action dans l’espace, y compris à des fins militaires. D’après MM. Todd Harrison et Thomas Karako, directeur des études relatives aux missiles, l’industrie civile travaille sur les services en orbite sur des cibles « coopératives », y compris en orbite géostationnaire, mais **une application militaire de ces technologies ne nécessiterait pas un saut technologique majeur**.

Le COSMOS a également détecté un **engin hyper-manceuvrant chinois**, nettement plus petit que le X37. Ses dimensions sont en effet à peu près celles d’un *cubesat* – c’est-à-dire un satellite de quelques dizaines centimètres de côté. Il n’en est d’ailleurs que moins aisément repérable : la détection d’engins de ce type de volume est nettement plus compliquée que celle des objets plus lourds.

- *Les cubesats*

Les rapporteurs se sont attachés à étudier en particulier les **possibilités offertes par les cubesats**. Aujourd’hui, ces engins sont encore peu manœuvrants, en raison de leur faible capacité d’emport de sources d’énergie que permet leur taille réduite. Mais leur coût est très limité – 10 millions d’euros pour un satellite – et si un tel objet venait à être motorisé, par exemple par un moyen de propulsion électrique, il aurait alors de considérables avantages :

– le COSMOS réfléchit en effet à l’architecture **d’une constellation de cubesats qui pourraient, en orbite basse, être très utile à la caractérisation des menaces**. Il est en effet envisageable d’embarquer des outils de détection de forme qui feraient faire de grands progrès dans la caractérisation des menaces ;

– de même, des *cubesats* embarqués dans des satellites principaux ou largués autour d’eux contribueraient bien davantage à la protection desdits satellites que les caméras dont il est envisagé d’équiper certains ; « *ils feraient d’excellents “chiens de garde”* ».

Revers de la médaille, la relative simplicité de ces objets et la modicité de leur coût pourraient les rendre accessibles à des **acteurs non-étatiques**, y compris

terroristes. Entre leurs mains, « **un cubesat peut servir de mine spatiale** », à l'instar des micro-drones employés par certains d'entre eux.

- *Une réalité que l'on tarde à admettre*

Au COSMOS, le colonel Thomas Vinçotte, adjoint du général commandant la brigade aérienne des opérations, a déclaré qu'« **il ne faut pas être naïf : l'arsenalisation de l'espace est un fait** », si l'on entend par là l'usage de moyens d'action militaires dans, depuis ou vers l'espace.

Il a précisé que si les échelons tactiques du commandement signalaient cette tendance de façon expresse et insistante, **la prise de conscience de la communauté spatiale est plus lente** : les industriels sont « *peu réactifs* », l'armée de l'air a longtemps consacré davantage d'attention à l'aéronautique qu'au milieu spatial, et les plus hautes autorités ont parfois hésité à se départir d'un discours basé davantage sur les principes du droit international que sur l'observation objective des pratiques.

D'ailleurs, a fait valoir le lieutenant-colonel Thierry Cattaneo, sur une soixantaine de puissances spatiales, **quatre États sont capables d'établir une situation spatiale de façon autonome** – les États-Unis, la Chine, la Russie et la France – et **trois d'entre eux disposent déjà de moyens d'action dans l'espace**. L'Allemagne, elle, dispose des capacités industrielles requises mais manque de moyens de détection autonomes.

En particulier, selon le commandement du COSMOS, la position de la Chine est très ambiguë : si elle promeut de « bonnes pratiques » et se présente en « puissance spatiale responsable », elle n'en demeure pas moins le dernier État à avoir usé d'armes pour détruire un satellite – en créant d'ailleurs nombre de débris à cette occasion. Les États-Unis, eux, ont démontré qu'ils possédaient les capacités requises pour le faire, mais ont procédé de telle sorte que les débris sont rapidement retombés sur Terre.

- ii. La réalité de l'arsenalisation de l'espace paraît assumée de plus en plus ouvertement par certaines puissances

- *Les zones d'ombre du droit international*

Spécialisé dans les aspects juridiques de la question, le Pr. Henry Hertzfeld, professeur de politiques spatiales et d'affaires internationales à l'institut d'études spatiales de l'école Elliott d'affaires internationales de l'Université George Washington et professeur associé de droit au sein de la même université, a expliqué qu'aux yeux de la doctrine majoritaire aux États-Unis,

**le droit international relatif à l'espace**<sup>(1)</sup> comporte encore « *des zones d'ombre* », qui font place à des **interprétations différentes des deux côtés de l'Atlantique**.

Le Pr. Henry Hertzfeld a rappelé que ce droit, « *rédigé avec prudence* », **n'interdit pas l'arsenalisation de l'espace en soi : il prohibe le placement d'armes nucléaires en orbite**, mais pas leur transit. Il importe de garder à l'esprit le *continuum* entre les milieux ; si l'on maintient la paix sur Terre, on devrait pouvoir le faire aussi dans l'espace, quand bien même les menaces existent.

- *Une politique américaine de plus en plus assumée*

Comme l'a observé le Pr. Henry Hertzfeld, **le Department of Defense entreprend depuis peu de « faire passer à la communauté spatiale l'idée de warfare dans l'espace »**, ce qui constitue **une nouveauté**. L'idée est que, dans quelques années, « *différentes puissances pourront lancer à peu près n'importe quoi dans l'espace, ce qui crée des inquiétudes chez les autres* ». D'ailleurs, des manœuvres chinoises d'approche autour de satellites américains ont d'ores et déjà démontré certaines de ces capacités et les autorités américaines évoquent également des capacités laser chinoises.

M. John Hill, directeur général de la politique spatiale du *Department of Defense*, a d'ailleurs déclaré expressément que « **la non-arsenalisation de l'espace est un mythe** », ne serait-ce que parce que rien n'empêche la neutralisation ou la destruction d'objets orbitaux depuis le sol. Il suffit pour cela de technologies de laser que maîtrisent et qu'utilisent couramment non seulement les Américains, mais nombre de puissances parmi lesquelles M. John Hill a cité particulièrement la Russie. Or « *quelle différence y a-t-il entre une neutralisation par un laser au sol et une neutralisation par un laser placé en orbite* » ?

Aussi, selon M. John Hill, l'invocation d'un principe de non-arsenalisation de l'espace par les Chinois ou les Russes est-elle empreinte d'« **hypocrisie** ». C'est pourquoi la stratégie nationale de sécurité américaine de décembre 2017 (*National Security Strategy*) définit désormais l'espace comme un milieu de conflit armé (*war-fighting domain*).

---

(1) On citera parmi les sources de ce droit :

- le traité de 1967 sur les principes régissant l'activité des États en matière d'exploration et d'utilisation de l'espace extra-atmosphérique (dit : « traité sur l'espace »), qui proscriit l'utilisation d'armes de destruction massive depuis l'espace et oblige à une utilisation de l'espace à des fins pacifiques, il interdit la revendication territoriale des corps célestes et l'exploitation privée des ressources spatiales ;
- l'accord de 1968 sur le sauvetage des astronautes, le retour des astronautes et le retour des objets lancés dans l'espace extra-atmosphérique, qui fixe des règles de coopération pour ce sauvetage et cette restitution ;
- la convention de 1972 sur la responsabilité internationale des dommages causés par les objets spatiaux, qui consacre le principe selon lequel les États qui ont lancé des objets dans l'espace sont tenus pour responsables des dommages éventuellement causés par l'objet ;
- la convention de 1975 sur l'immatriculation des objets lancés dans l'espace extra-atmosphérique, qui crée obligation pour les États d'immatriculer les objets lancés dans l'espace et de les répertorier auprès des Nations unies ;
- l'accord de 1979 régissant les activités des États sur la Lune et les autres corps célestes : calqué sur le droit de la mer, il fait de la Lune et des autres corps célestes un « patrimoine commun de l'humanité » dont l'exploitation est placée sous un régime international. Les grandes puissances spatiales, comme les États-Unis, la Russie, la Chine ou encore la France, ne l'ont jamais ratifié.

Cette position rejoint celle du *Congressman* Mike Rogers, alors président de la sous-commission des forces stratégiques de la commission des forces armées de la Chambre des représentants et auteur d'une proposition de loi en cours d'examen tendant à instituer une « armée de l'espace » (*Space Force*), force armée à part entière spécialisée dans le milieu spatial. M. Mike Rogers a expliqué que les États-Unis pourraient se doter de moyens d'action de tous types :

– **non seulement des moyens de neutralisation, mais aussi de destruction des engins spatiaux** adverses, « *élément important pour la crédibilité d'une posture dissuasive* », quelles que soient les conséquences en matière de débris spatiaux ;

– non seulement depuis le sol, mais aussi depuis l'espace.

Pour lui, les États-Unis ont commis « *une erreur stratégique* » après les « années Reagan », en cédant à une réaction de principe de l'opinion internationale contre l'arsenalisation de l'espace à la suite de l'initiative de défense stratégique. Or, dans le même temps, selon lui, « **la Russie a poursuivi ses programmes d'arsenalisation de l'espace** ».

Comme l'a fait valoir l'ambassadeur de France aux États-Unis, l'annonce de la création d'une *Space Force* peut être vue comme une façon **d'assumer l'arsenalisation de l'espace voire l'idée de « guerre spatiale »**, et de **rompre ainsi expressément avec une vision de l'espace comme un milieu démilitarisé et régi par le droit international**, vision encore prédominante en Europe. Il a ajouté que **ce changement de posture stratégique des États-Unis avait toutes les chances d'être structurel**, c'est-à-dire de ne pas tenir exclusivement aux vues de l'administration en place et, de ce fait, de marquer une tendance appelée à se poursuivre quelle que soit l'issue des élections de 2020.

### **3. Des facteurs d'instabilité stratégique dans le milieu spatial**

Le colonel François-Marie Gougeon a rappelé que, dans les années 1960, on définissait la « stabilité stratégique » comme la situation dans laquelle aucun État n'était capable de prendre un ascendant significatif sur un autre par une initiative offensive, en particulier en provoquant une surprise stratégique. Cette notion avait permis l'ouverture de discussions en matière de maîtrise des armements, dont les traités sur l'espace dans les années 1960 et 1970 constituent un aspect, motivées par le sentiment que les progrès technologiques se répandaient rapidement, sans contrôle, et que les conséquences sur les rapports de force pouvaient être sources de tensions graves ou d'incidents catastrophiques. Il s'agissait en particulier de limiter les risques dans trois domaines où il est manifeste que les développements spatiaux aujourd'hui constituent des facteurs d'instabilité.

### ***a. Des formes de prolifération***

La prolifération des armements constitue par nature un facteur d'instabilité stratégique. Elle est cependant à l'œuvre dans l'espace, où le colonel François-Marie Gougeon a expliqué qu'elle revêt deux aspects :

– une prolifération « **horizontale** », c'est-à-dire l'accroissement du nombre d'acteurs spatiaux, le colonel rappelant à ce propos que treize États sont capables de fabriquer et de lancer des satellites et que plus de soixante possèdent des satellites ;

– l'arsenalisation et la militarisation de l'espace, tout comme la mise en œuvre de logiques de « dissuasion spatiale », c'est-à-dire la capacité de frapper sévèrement les moyens spatiaux de l'adversaire, marque une forme de prolifération « **verticale** », alimentée par l'opacité propre à ce milieu, où chaque acteur est dans l'incertitude sur la réalité des capacités des autres.

À cet égard, le milieu spatial paraît marqué par un phénomène de « course aux armements », trait caractéristique d'une situation d'instabilité stratégique.

### ***b. Des risques de frappe en premier***

Plus une puissance a de raisons d'envisager une frappe en premier, moins le contexte stratégique peut être qualifié de stable. Or, a fait valoir le colonel François-Marie Gougeon, avec les capacités cybernétiques et spatiales, « *la perspective d'une surprise techno-stratégique redevient plausible* », par exemple pour une « *frappe en premier désarmante* ».

Ce risque vaut même en situation de conflit asymétrique : un État peu dépendant des moyens spatiaux peut causer des dommages substantiels à une puissance spatiale, ce qui peut « *inciter à des frappes en premier préemptives, voire préventives* ».

### ***c. Des risques d'escalade accidentelle ou involontaire***

Selon les représentants de la DGRIS, « *les scénarios de méprise potentielle et de logique escalatoire se multiplient* » dans l'espace, en raison de la combinaison entre trois éléments :

– les difficultés de détection, de caractérisation et d'attribution des actions résultant des contraintes physiques propres à l'espace ;

– un risque particulièrement élevé d'incidents dans ce milieu, compte tenu par exemple du nombre de débris, des risques de collisions sur des orbites surchargées ou des interférences électromagnétiques ;

– l'absence de **mesures de confiance et de transparence**. À cet égard, le manque de vision commune, au sein de la communauté internationale, de ce que peuvent représenter les différents **seuils de réaction** – c'est-à-dire une définition

communément admise de ce que sont un « *acte inamical licite* », un « *acte illicite en deçà de l'emploi de la force* » ou un « *acte relevant du seuil de l'agression armée* » – est « *particulièrement préoccupant* ».

M. Frédéric Planchon a ajouté que l'arsenalisation de l'espace passait initialement par des menaces cinétiques, tels les missiles anti-satellites, mais tend désormais à se traduire par des « *menaces discrètes* », au moyen par exemple de charges utiles secondaires embarquées, d'outils cybernétiques, de nano-satellites, d'armes à énergie dirigée ou, plus simplement, de brouillage. Un petit satellite, même peu puissant, peut en effet brouiller les télécommunications d'un satellite voisin. Surtout, **ces technologies spatiales ont l'avantage de permettre d'agir tout en mettant l'adversaire dans une double difficulté** :

– celle, d'ordre technique, **d'identifier et de caractériser** l'action ;

– celle, d'ordre juridique, tenant au fait que le niveau d'agression dans l'espace peut se situer **en-deçà du seuil de l'agression armée**, ce qui ne permet pas, en droit international, de répondre par la force armée.

#### **4. Montée des tensions et des confrontations**

L'évolution du contexte stratégique dans l'espace est aujourd'hui marquée par la prégnance de visions non-coopératives de l'action des puissances dans l'espace, et l'idée même d'emploi de moyens de destruction ou de neutralisation est vue de plus en plus comme une possibilité.

##### ***a. L'espace devient un lieu de confrontation plutôt que de coopération***

- i. L'échec des tentatives visant à faire prévaloir des règles de coopération pour l'action dans l'espace

Rappelant qu'à l'époque où émergeait le risque nucléaire, ce sont les réticences vis-à-vis du principe de représailles massives qui ont conduit les États-Unis à développer différents types de réponses graduées, M. Michael Krepon a fait valoir que, de même, il convient de développer des mécanismes de contrôle de l'escalade des tensions dans le champ spatial.

Dans cette optique, le Stimson Center s'emploie depuis plus de dix ans – mais sans succès – à la promotion d'un **code de conduite sur les opérations spatiales**, pour les puissances spatiales qui se veulent « responsables ». Par exemple, en cas de mouvement suspect d'un satellite, il s'agirait pour les parties à une telle convention de s'obliger à répondre aux questions des autres parties. L'Union européenne a repris cette proposition, mais **le président Obama a fait le choix – regrettable aux yeux de M. Michael Krepon – de ne pas y donner de suite**. Ainsi, « *une bataille est déjà perdue* » : celle des ***close proximity operations***, non seulement en orbite basse mais aussi en orbite géostationnaire.

Le projet de code de conduite proposé par l'Union européenne avec le soutien de la France visait en effet à promouvoir, au moyen de mesures volontaires de confiance et de transparence, la sécurité des activités spatiales, qu'elles soient civiles ou militaires. Il était fondé sur trois principes :

– la liberté pour tous les États d'utiliser l'espace extra-atmosphérique à des fins pacifiques ;

– la préservation de la sécurité et de l'intégrité des objets spatiaux en orbite ;

– la considération de la sécurité légitime et des besoins des États en matière de défense.

Au sein des Nations unies, **cette proposition s'est heurtée au refus de nombre de puissances, y compris les États-Unis, la Chine et la Russie.** MM. Todd Harrison et Thomas Karako ont ajouté que l'échec de ce projet n'est pas imputable seulement au refus de ces deux derniers États, mais aussi à celui de puissances émergentes – tels le Brésil et l'Inde –, soucieuses de « *se laisser les mains libres* ». Les États-Unis, eux, partageaient cette préoccupation dès lors qu'un code de conduite n'aurait pas créé les mêmes contraintes pour la Russie et la Chine, soit qu'elles n'y auraient pas adhéré, soit que les mécanismes de transparence n'aient pas été suffisants pour garantir son respect.

Les représentants de la DGRIS ont fait valoir, de surcroît, que dans le contexte actuel, l'application des textes internationaux relatifs à l'espace pose certaines difficultés :

– la **caractérisation de ce qu'est une arme** n'est pas évidente : « *un simple bras articulé peut devenir une arme par destination dans l'espace* » ;

– la **légitime défense** se heurte à un halo juridique autour des actions dans l'espace : outre que ces actions sont difficiles à surveiller et à caractériser, les frontières sont floues entre les catégories d'actions envisageables, entre actes illicites et actes licites, comme entre actes inamicaux et acte non-agressifs ;

– le **contrôle** de l'application des règles par les États est difficile, ce qui a pour conséquence qu'il n'est pas impossible que seuls les États « responsables » se plient aux contraintes du droit international ;

– la **multiplication des acteurs privés** dans l'espace « *ne facilite pas la réglementation de celui-ci* », car la pression concurrentielle ne rend pas les opérateurs privés très enclins à un développement de la normalisation.

Ces difficultés ont motivé les réticences françaises vis-à-vis de la dernière initiative en date en la matière, à savoir la proposition russo-chinoise d'un « **traité sur la prévention du placement d'armes dans l'espace et de la menace ou de l'usage de la force contre des objets dans l'espace** » – *Treaty on the Prevention*

*of the Placement of Weapons in Outer Space, the Threat or Use of Force against Outer Space Objects* (PPWT). Des représentants du gouvernement américain ont même qualifié d'« hypocrite » cette initiative russo-chinoise.

Ainsi, pour quelques années au moins, ne paraît-il pas réaliste de miser sur un encadrement international coopératif assurant la défense des intérêts français dans l'espace et, plus généralement, la défense de ces intérêts contre les menaces venues de l'espace.

ii. Les logiques de domination, et donc de confrontation, s'imposent

Au contraire, les rapporteurs ont pu constater aux États-Unis que **le but expressément assumé des autorités civiles et militaires américaines consiste en une « domination » de l'espace (*space dominance*)**.

M. Mike Rogers a ainsi expliqué les raisons de la création d'une *Space Force* en expliquant que les spécificités du milieu spatial sont telles que la « domination » (*dominance*) de l'espace est la seule garantie possible de sécurité dans l'espace. La stratégie de défense spatiale en cours d'élaboration est donc expressément présentée par le *Congressman* comme visant à « reconquérir une position de domination de l'espace ».

Par ailleurs, le discours des autorités américaines est empreint des marques d'une très vive méfiance vis-à-vis de deux compétiteurs stratégiques : la Russie et la Chine. Dès lors, dans un contexte de tensions stratégiques, la recherche assumée d'une position de « domination » par l'une des parties ne peut que susciter des ambitions de même nature auprès des autres. Or, vraisemblablement, la Chine possède les moyens d'entretenir une rivalité avec les États-Unis en matière spatiale. Aussi **la logique de « domination » de l'espace paraît-elle conduire inmanquablement à une des logiques de confrontation autour de l'espace, voire dans l'espace.**

M. Jean-Jacques Dordain a par ailleurs indiqué que M. Michael Griffin, administrateur de la NASA de 2005 à 2009 et aujourd'hui sous-secrétaire d'État à la Défense chargé de la recherche et de l'ingénierie (*Under Secretary of Defense for Research and Engineering*), n'hésite pas à déclarer publiquement que les États-Unis ont un retard à rattraper sur la Chine en matière de protection des capacités spatiales. Les Américains, certes, ont tendance à présenter la Chine comme « *un ennemi tous azimuts* » et l'expérience des décennies passées montre que l'existence d'un grand compétiteur stratégique facilite l'octroi de budgets conséquents aux grandes agences fédérales, telle la NASA. D'ailleurs, la seule hausse du budget de celle-ci en 2018 représente l'intégralité du budget annuel du CNES.

En tout état de cause, **prendre le milieu spatial comme lieu de confrontation bilatérale est en réalité conforme à une certaine tradition stratégique américaine.** Comme hier envers l'Union soviétique – notamment à la faveur des projets Apollo et de l'initiative de défense stratégique –, aujourd'hui



envers la Chine, il s'agit de défendre ce que les Américains appellent expressément leur « domination » dans l'espace contre un compétiteur stratégique. Ainsi, une disposition législative connue sous le nom d'« amendement Wolf » fait interdiction à la NASA de coopérer avec les autorités chinoises sans autorisation expresse du Congrès. Le fait que les Chinois mettent en œuvre une politique de long terme, accomplissent et démontrent des progrès technologiques majeurs et affichent des ambitions très emblématiques, comme envoyer un engin robotique explorer la face cachée de la Lune, voire y envoyer des équipages s'y poser et même s'y établir, alimente la confrontation.

***b. Des armes et autres moyens d'action dans l'espace pourraient ne pas rester des armes de non-emploi***

i. L'arsenalisation de l'espace pourrait suivre deux logiques opposées :  
l'une calquée sur la dissuasion, l'autre sur la cyberdéfense

- *S'inspirer, pour gérer l'arsenalisation de l'espace, de la logique sous-tendant la dissuasion ?*

Pour M. Michael Krepon, l'un des principaux sujets de réflexion dans les affaires spatiales est **la question de savoir si le concept de dissuasion, développé pour l'arme nucléaire, peut s'appliquer au milieu spatial**. Un système de maîtrise des armements, d'équilibre des forces et de retenue a été mis en place à l'époque du développement de l'arme nucléaire, alors même que survenaient des frictions et des tensions parfois vives entre les États-Unis et l'Union soviétique.

D'ailleurs, alors même qu'il a indiqué que, selon ses vues, les Américains devraient doter leur *Space Force* d'une gamme très étendue de moyens militaires d'action dans l'espace et depuis l'espace – y compris de moyens de destruction –, M. Mike Rogers a présenté la stratégie de défense spatiale comme reposant sur un mécanisme de dissuasion, le parallèle avec la logique sous-tendant la dissuasion nucléaire étant expressément fait. L'effet recherché consiste, dans son esprit, à « **dissuader les Russes de s'en prendre aux moyens spatiaux américains** », par peur des dommages que les États-Unis leur infligeraient en retour.

Dans le même sens, tout en indiquant qu'« *avec ce que font la Chine et la Russie, l'arsenalisation de l'espace est inéluctable* », M. Ro Khanna a déclaré qu'il faut « **éviter d'entamer une course aux armements** ». Il a précisé que cette inévitable arsenalisation de l'espace mérite à ses yeux d'être encadrée par le droit international pour garantir, d'une part, un contrôle des capacités spatiales et, d'autre part, un certain équilibre des forces.

- *S'en tenir au « modèle » qui a cours aujourd'hui en matière de cyberdéfense ?*

L'ambassadeur de France aux États-Unis a indiqué que les autorités américaines établissent volontiers un parallèle entre le milieu spatial et le milieu

cybernétique, dans lequel la doctrine américaine fait une part de plus en plus grande aux postures offensives assumées. D'ailleurs, dans les explications de M. Mike Rogers sur les raisons de la création d'une *Space Force*, un parallèle est expressément fait avec l'autonomie croissante des organismes chargés de la cyberdéfense, pour lesquels les États-Unis ont « *dû créer une organisation séparée afin que la mission ne soit pas négligée* ».

Un tel parallèle n'a rien d'anodin. En effet, le milieu spatial et le milieu cybernétique sont souvent présentés comme deux nouveaux théâtres de confrontation et, pour l'heure, la lutte cybernétique ne fait pas l'objet d'un encadrement international étroit. Les deux milieux présentent une autre caractéristique commune qui a pour double effet de compliquer leur défense et de désinhiber les auteurs d'actions agressives ou inamicales : l'attribution des dommages y est par nature difficile.

ii. La vision non-dissuasive de l'arsenalisation de l'espace n'est pas un tabou parmi les principales puissances spatiales

- *Le non-emploi des moyens d'action dans l'espace ne paraît pas l'hypothèse la plus probable*

M. Michael Krepon a estimé que **l'actualité peut faire craindre que les mécanismes de contrôle de l'escalade qui sous-tendent le dialogue de dissuasion ne s'appliquent pas spontanément au secteur spatial.**

D'abord, comme on l'a dit, **les développements technologiques récents permettent d'envisager aisément des actions dans l'espace.** Comme l'a fait valoir M. Michael Krepon, si la Chine, la Russie, la France ou l'Inde déployaient des « *space mines* », toutes les puissances viendraient à en déployer et même, le cas échéant, à nier la nature et l'objet de ces engins. C'est en outre moins dans le champ de la neutralisation des satellites que du brouillage de leurs signaux que de telles actions pourraient être entreprises. Des pays comme l'Iran, ou toute autre puissance qui cherche à contrôler les moyens de diffusion d'informations sur leur territoire – pourquoi pas la Chine –, peuvent trouver un certain intérêt dans ces techniques.

Ensuite, de façon « *parfaitement irresponsable* » aux yeux de M. Michael Krepon, le secrétaire d'État à l'*Air Force* et son chef d'état-major ont **publiquement déclaré qu'« une guerre spatiale est inévitable »**. Faut-il entendre par là une guerre « froide » ? Peut-être. Et d'ailleurs, même dans les périodes de fortes tensions entre Washington et Moscou, aucun des deux acteurs n'a franchi le pas dans l'espace. Néanmoins, l'administration Trump a déclaré vouloir étudier de nouveau l'idée d'armes placées dans l'espace. M. Michael Krepon a d'ailleurs rappelé que cette idée avait été abandonnée, dans les années 1980 et 1990, « *pour la simple et bonne raison que les satellites sont en mouvement : par conséquent, pour braquer l'arme embarquée sur un satellite vers une cible précise, il faut une douzaine de satellites* ». Le coût d'une telle architecture, ainsi que la simplicité

avec laquelle des contre-mesures peuvent être mises en œuvre, avaient alors conduit à écarter cette idée.

Enfin, avec la numérisation croissante des engins satellitaires, des moyens d'action cybernétiques peuvent efficacement être employés contre des systèmes spatiaux. Pour M. Michael Krepon, une confrontation dans le champ cybernétique « au sol » est cependant plus probable que dans l'espace.

Accessoirement, **l'émergence d'organisations non-étatiques** – à l'image de ce qui, sur Terre, s'est développé en Syrie ou en Libye – trouvant des moyens d'agir dans l'espace ne peut pas être totalement exclue. Comme l'a fait valoir M. Michael Krepon, la spécificité de ce type d'acteur tient à ce que n'ayant pas les mêmes responsabilités qu'un État vis-à-vis d'un territoire et d'une population, les mécanismes classiques de contrôle de l'escalade des tensions s'appliquent plus difficilement à eux. Cependant, cette hypothèse reste peu probable, dans la mesure où les moyens d'attaque des terroristes restent le plus souvent « assez basiques » : des fusils semi-automatiques ou des IED produisent déjà des effets considérables, y compris sur le plan symbolique. D'ailleurs, « *contrairement à une crainte rémanente, on n'a pas vu encore de terrorisme NRBC* » (nucléaire, radiologique, chimique ou bactériologique). Et même si les terroristes voulaient recourir à des modes d'action plus sophistiqués, l'effet recherché au moyen du piratage de satellite ne peut-il pas plus simplement être atteint par des moyens plus simples, à terre, le cas échéant cybernétiques ?

- *L'asymétrie des puissances spatiales constitue une limite à la transposition des logiques de dissuasion au secteur spatial*

MM. Todd Harrison et Thomas Karako ont fait valoir certaines limites dans le parallèle fait par certains entre les cadres d'analyse sous-tendant la doctrine nucléaire et ceux qui sont en cours d'élaboration s'agissant du secteur spatial. Notamment, **le principe de destruction mutuelle assurée qui fonde la logique de la dissuasion se heurte toutefois pour eux à une limite** : tous les adversaires potentiels des États-Unis n'ont pas la même dépendance que ces derniers aux moyens spatiaux – telle la Corée du Nord.

Ils ont néanmoins reconnu que vis-à-vis de grandes puissances spatiales, une telle logique peut jouer. Ainsi, par exemple, lorsque les Chinois ont tenu des déclarations pouvant être vues comme évoquant la possibilité de mise en œuvre d'une stratégie de « déni d'accès satellitaire ». Mais les satellites chinois en orbite basse survolant territoire des États-Unis et celui de leurs alliés, y compris asiatiques, ils seraient exposés aux mêmes menaces.

Néanmoins, au *Department of Defense*, M. John Hill a expliqué **qu'une doctrine de défense spatiale américaine ne pourrait pas reposer sur les mêmes bases conceptuelles que la dissuasion nucléaire** – à savoir l'effet dissuasif d'une destruction mutuelle assurée –, ne serait-ce qu'en raison de

## **l'asymétrie entre la Chine (expressément citée) et les États-Unis en matière de dépendance aux moyens spatiaux.**

Ainsi, l'espace pourrait devenir un milieu de confrontation relativement peu régulé.

### **B. LES ENJEUX STRATÉGIQUES À L'ŒUVRE APPELLENT UNE DOCTRINE, UNE ORGANISATION ET UNE PROGRAMMATION CAPACITAIRE COHÉRENTES**

Dans ce contexte, les enjeux stratégiques concernant une puissance comme la France sont tels, qu'une véritable stratégie de défense spatiale mérite d'être élaborée, tenant compte du caractère dual des affaires spatiales ainsi que de la place de l'Europe dans ce domaine.

#### **1. Des enjeux stratégiques profondément renouvelés**

De l'évolution du contexte stratégique que l'on vient de décrire découlent des enjeux non seulement militaires, mais aussi duaux.

##### *a. Des enjeux militaires*

###### *i. Des enjeux de sûreté spatiale*

De l'analyse des enjeux stratégiques actuels en matière spatiale ressortent principalement les points suivants :

– la **maîtrise du trafic spatial**, enjeu stratégique qui comprend plusieurs aspects : la gestion d'une situation spatiale « *congestionnée* », la **surveillance de la prolifération** des moyens spatiaux, l'analyse des capacités rendues possibles par les **technologies nouvelles** et la mise sur pied de moyens propres à **compenser l'absence de régulation internationale du trafic spatial**. En effet, si des textes existent, leur mise en œuvre demeure inefficace faute d'organe administratif international investi de l'autorité nécessaire pour les faire respecter, à l'instar de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) pour le trafic aérien ;

– la **maîtrise de la situation militaire dans l'espace**, ce qui suppose de **protéger les systèmes et les services spatiaux** d'intérêt pour les armées, de parer l'émergence de **doctrines d'agression** dans l'espace, de **surveiller l'emploi des armes « non traditionnelles »**, d'assurer par les moyens spatiaux nécessaires la **direction des actions militaires** dans les autres milieux, par exemple pour le lancement des missiles, voire, si la doctrine évoluait en ce sens, de **mettre en œuvre des moyens d'action**, notamment contre-offensifs, dans l'espace ;

– la **maîtrise de l'environnement spatial** pour garantir la **transmission des ordres** et contre-ordres (les seconds étant d'ailleurs souvent plus urgents que les premiers) et pour pouvoir **analyser la situation spatiale**.

## ii. Des enjeux de gouvernance

De surcroît, les autorités militaires de la base aérienne 942 ont fait valoir que l'ensemble des évolutions de la situation spatiale décrites précédemment rendent nécessaire **d'accélérer les procédures de décision dans le pilotage des opérations spatiales**, ce qui mérite à leurs yeux d'être pris en compte dans les réflexions actuelles sur la gouvernance de l'espace.

En effet, le lieutenant-colonel Thierry Cattaneo a fait valoir que, suivant les procédures actuelles, en sus de leurs échanges quotidiens, **le COSMOS et le CNES mettent en œuvre une cellule commune**, reliant les installations des deux centres par un réseau informatique spécifique, en cas d'événement spatial appelant des opérations de suivi ou de conduite. Tel est le cas, par exemple, lorsqu'un satellite russe s'approche d'un satellite français de télécommunications ; il s'agit d'instruire un dossier sur la base duquel l'autorité compétente puisse prendre (ou non) la décision d'interrompre les émissions de notre satellite afin d'éviter qu'elles soient captées par le satellite russe « butineur ». C'est alors le commandement interarmées de l'espace qui formule les propositions de réponses soumises à l'autorité compétente.

Or, selon le colonel Thomas Vinçotte, **ce processus d'instruction et de décision est aujourd'hui « long »**. En effet, les travaux de détection, de caractérisation, d'évaluation et de conduite d'action nécessaires effectués au sein de cette cellule commune entre le COSMOS et le CNES, même en urgence, prennent la plupart du temps une dizaine d'heures, et **jamais moins de six heures**.

Le colonel a mis ces délais en regard de ceux applicables dans les activités de défense aérienne, qui n'excèdent pas quelques minutes. Certes, le *tempo* des opérations spatiales est traditionnellement plus long que celui des opérations aériennes. Mais, selon le lieutenant-colonel Thierry Cattaneo, **le rythme des opérations spatiales a tendance à s'accélérer, notamment du fait des capacités de manœuvre accrues de certains engins, et des logiques de transmission des ordres vers ces objets spatiaux, mais aussi du fait de l'apparition des architectures en méga-constellations**. Ainsi, en cas de détection d'une manœuvre du X37, le délai utile pour réagir n'excède pas **trente minutes**.

Cette situation appelle donc un raccourcissement significatif de la boucle OODA (observer, s'orienter, décider et agir). Il s'agit, selon le colonel Thomas Vinçotte, de **passer d'une organisation « collégiale et artisanale » à un niveau d'« intégration des structures » qui offre à la « boucle » de décision « davantage de réactivité »**. Ainsi, la nouvelle temporalité des opérations spatiales plaide en faveur d'une nouvelle gouvernance du secteur spatial de défense.

### *b. Des enjeux duaux, qui s'attachent notamment à la relance de la conquête spatiale*

Les nouvelles possibilités offertes par les technologies spatiales ont donné un nouvel élan aux projets de conquête de l'espace. Certes, la plupart des missions

d'exploration scientifique sont conduites en coopération internationale. Mais toutes les missions ne le sont pas, et certaines peuvent intéresser non seulement la science, mais aussi l'industrie ou la défense nationale.

i. Des projets d'établissement exo-atmosphérique pérenne et lointain

Américains comme Chinois ont annoncé des projets d'établissement sur la Lune ou autour de celle-ci. D'ailleurs, comme l'ont fait observer les représentants d'Ariane Group, les missions lunaires sont régulièrement **au centre de « discours de puissance » des Américains**, sans nécessairement que les programmes concernés tiennent toutes leurs promesses. Ainsi, « *il y a deux ans, Elon Musk annonçait qu'il serait sur la Lune trois ans plus tard...* ».

Il est à noter que les ambitions spatiales affichées au plus haut niveau par l'administration américaine, comme l'établissement d'une base habitée sur la Lune, ne pourront être matérialisées avant de nombreuses années, du fait des disponibilités financières de la NASA ; ainsi, le retour d'un astronaute sur la lune n'est à ce jour pas prévu avant 2028. Certes, des entreprises privées devraient participer activement à la mise en œuvre du retour sur la lune, mais, pour le représentant du CNES aux États-Unis, il apparaît difficile aujourd'hui d'imaginer l'émergence d'une activité commerciale de grande ampleur dans ce domaine. Ce sont donc des contrats publics qui en majorité financeront ces activités. En tout état de cause, la NASA paraît encline à relancer la reconquête de la Lune, d'abord par un établissement cislunaire, puis par un établissement lunaire.

ii. Des projets d'exploitation des ressources naturelles exo-atmosphériques

La conquête des ressources de l'espace, hier objet de science-fiction, est aujourd'hui l'objet d'investissements massifs. Les rapporteurs se sont attachés à étudier les enjeux de ces projets à l'aune des intérêts de la France. Il en ressort que si leur faisabilité n'est pas certaine, leur intérêt technologique ne fait pas de doute.

- *Prendre le relais de l'exploitation des ressources terrestres, soit en raison de leur épuisement, soit en raison de leur inaccessibilité*

Comme l'a fait valoir M. Jean-Jacques Dordain, les ressources terrestres sont finies et, si le terme de nos ressources n'est pas connu – « *ce qui n'aide pas à une prise de conscience* » –, il n'en est pas moins « *évident* » que l'exploitation des ressources spatiales sera nécessaire. En outre, **l'accès aux ressources peut être aléatoire ; la Chine, par exemple, possède l'essentiel des terres rares**. Aussi est-il sage de se préparer dès à présent à l'exploitation des ressources spatiales pour le cas où les approvisionnements terrestres viendraient à se tarir, soit par voie d'épuisement, soit par voie de restrictions à l'importation.

D'ailleurs, **les missions spatiales elles-mêmes gagneraient à de tels développements**. En effet, lancer toutes les missions depuis la Terre est peu économe de moyens ; à l'inverse, un ravitaillement en cours de mission serait

économique. « *Si une sorte de “Total” mettait en place une sorte de “pompe à essence” entre la Terre et Mars, ce “Total” ferait fortune !* » Aujourd’hui, 99 % d’un vol vers Mars se fait en déplacement balistique, ce qui allonge les délais – cinq mois – et limite les fenêtres d’opportunité pour les lancements. Ainsi, avant même de penser ravitailler la Terre en ressources spatiales, à un terme incertain, il existe déjà un besoin de ravitaillement des missions spatiales elles-mêmes.

De même, M. Nicolas Chamussy a fait valoir que le milieu terrestre est marqué par des contraintes physiques majeures, tant du fait de la gravité que des phénomènes mécano-vibratoires : le lancement est « *ultra-violent* », et le test en univers gravitationnaire de satellites destinés à fonctionner en milieu d’apesanteur crée des difficultés. **L’intérêt d’une fabrication directement dans l’espace, par voie de fabrication additive par exemple**, mérite donc d’être évalué. Pour M. Nicolas Chamussy, « *le Graal, ce serait l’usine spatiale, c’est-à-dire la construction dans l’espace au moyen de matières premières extra-atmosphériques* ». Airbus Defence & Space teste d’ailleurs un robot capable d’utiliser une bande métallo-plastique, par exemple en l’articulant pour former des cornières. Il ne s’agit là que de premières briques qui permettent d’imaginer des développements futurs. Reste cependant à mettre en orbite les robots et la matière première. Après l’échec du défi Google Lunar X-Prize, qui consistait à aller sur la Lune et en rapporter quelque chose, Airbus a repris le flambeau avec **le projet *The Moon Race*, consistant à fabriquer une brique sur la Lune**. Le but d’Airbus consiste à susciter la constitution d’équipes internationales. Le fait que cette compétition soit en cours montre à la fois que l’exploitation des ressources n’est pas encore d’actualité mais que nombre d’acteurs y songent.

En outre, les représentants d’Airbus Defence & Space, rappelant que les **serveurs informatiques** sont aujourd’hui particulièrement « *énergivores et vulnérables* », ont indiqué que certaines sociétés travaillent sur l’idée de déporter les fermes de données dans l’espace, voire sur la Lune. Pour Airbus Defence & Space, « *du point de vue technologique, rien ne s’y oppose : la vulnérabilité est moindre, le refroidissement ne sera pas un grand problème compte tenu des températures dans l’espace et l’énergie solaire est abondante* ».

- *Un pari fait par des entreprises soutenues par des États*

Comme l’a dit M. Ro Khanna, existent nombre de *start-up* « *qui voient dans l’exploitation des ressources minières spatiales une “nouvelle frontière”* ». Pour le *Congressman*, de telles possibilités, si elles ne sont pas avérées, n’en méritent pas moins assurément d’être explorées. Space X, par exemple, envisage de terraformer Mars – c’est-à-dire, suivant un des concepts initialement élaborés par la science-fiction, à la rendre habitable à l’image de la Terre – en vue d’y créer une atmosphère vivable.

M. Todd Harrison, estimant que c’est possiblement dans dix ans que les premières opérations d’exploitation auront lieu, avant tout pour trouver des

moyens de ravitaillement des véhicules spatiaux et pour construire dans l'espace lui-même les infrastructures nécessaires, a évoqué **l'idée que tel puisse être le but des missions lunaires chinoises**. En effet, avant d'envisager une importation massive de matières premières sur Terre, il faudra d'abord des infrastructures dans l'espace, notamment sur la Lune. Or les pôles de la Lune comportent de l'eau gelée, et sont les seuls points d'ensoleillement permanent de cet astre. Avec deux autres points de cet astre qui se prêteraient à l'installation d'un ascenseur spatial, il suffirait alors de contrôler quatre petites régions lunaires pour prendre le contrôle économique du corps céleste entier. C'est pourquoi, pour lui, « *les programmes lunaires chinois, à cet égard, appellent une attention soutenue* ».

D'ailleurs, **deux États ont institué un cadre législatif** pour encadrer les activités d'exploitation des ressources exo-atmosphériques :

- les États-Unis, avec le *Space Act* de 2015 ;
- le Luxembourg, avec une loi sur l'exploration et l'utilisation des ressources de l'espace, entrée en vigueur le 1<sup>er</sup> août 2017.

Ils exploitent ainsi une zone d'incertitude dans la portée du droit international. En effet, celui-ci interdit l'appropriation des corps célestes, mais ces deux législations autorisent l'appropriation de leurs produits. Le législateur a, dans ces deux cas, procédé par analogie avec le droit de la mer, que l'on pourrait résumer à grands traits de la façon suivante : les océans n'appartiennent à personne, mais le poisson appartient à celui qui l'y pêche. Le Conseil d'État du Luxembourg, saisi de la compatibilité de la réforme envisagée avec le droit international <sup>(1)</sup>, a considéré qu'un courant majoritaire de la doctrine lit en ce sens le texte des traités et conventions applicables.

Dans le droit américain, l'acteur concerné doit être à 51 % au moins détenu par des Américains ; dans le droit luxembourgeois, il est requis que les *start-up* concernées aient un siège au Luxembourg. Pour M. Jean-Jacques Dordain, « ***cette formule est extrêmement attractive pour les start-up*** ». D'ailleurs, quatre entreprises majeures du secteur spatial se sont installées au Luxembourg :

- les sociétés américaines Deep Space Industries et Planetary Resources, qui se sont donné pour objet de développer l'exploitation des ressources présentes dans l'environnement extra-atmosphérique, notamment sur les astéroïdes. On notera que le Grand-Duché est actionnaire de Planetary Resources ;
- l'entreprise japonaise Ispace, spécialisée dans la robotique ;
- la société germano-luxembourgeoise Blue Horizon.

---

(1) *Grand-Duché du Luxembourg, Chambre des députés, avis du Conseil d'État sur le projet de loi sur l'exportation et l'utilisation des ressources de l'espace, n° 7093.*



- *Des avis partagés sur la faisabilité de ces projets*

Les rapporteurs ont pu constater que les avis sont très partagés quant à la faisabilité de l'exploitation de ressources exo-atmosphériques.

**Certains en doutent fortement.** Ainsi, M. M. Jean-Yves Le Gall a estimé que l'exploitation de ressources présentes dans l'espace doit être considérée comme une perspective de très long terme. À ce titre, elle ne mobilise pas encore les équipes du CNES au-delà des missions scientifiques qui prévoient des retours d'échantillons de matières spatiales. Celles-ci démontrent les difficultés et les coûts de telles initiatives et conduisent à exclure du court ou moyen terme toute velléité d'exploitation des ressources présentes dans l'espace. M. Jean-Yves Le Gall a mis en avant des obstacles « *qui se révèlent aujourd'hui dirimants* » vis-à-vis de toute entreprise d'exploitation de ressources extra-atmosphériques :

- pour rejoindre la ceinture d'astéroïdes de notre système solaire, il faut ainsi environ cinq années ;

- quant aux astéroïdes « géocroiseurs », la plupart circulent « *beaucoup trop vite* » et leur intérêt géologique apparaît « *pour le moins incertain* », comme le révèle la mission de prélèvement conduite sur l'astéroïde Ryugu ;

- le rapport coût-efficacité de l'exploitation minière de tous ces astéroïdes « *disqualifie toute entreprise* » d'exploitation minière lorsque l'on songe que la mission franco-japonaise MMX (*Martian Moon Exploration*) a pour ambition à partir de 2024 de ramener sur Terre depuis Phobos, un satellite de Mars, une centaine de grammes de matière pour un coût de 500 millions de dollars ;

- quant aux projets de mines sur la Lune, ils sont « *pharaoniques* », et peut-être même hors de portée financière des États-Unis. À cet égard, M. Jean-Yves Le Gall a estimé que la référence au programme *Apollo* d'exploration lunaire doit être remise en perspective. En effet, son budget représenterait aujourd'hui 100 milliards de dollars et le niveau de risques accepté à l'époque ne le serait plus aujourd'hui. Il a aussi rappelé que les quelques centaines de kilogrammes de roches lunaires rapportés sur Terre par les missions *Apollo* ne révèlent « *que peu d'intérêt scientifique* » et que l'environnement lunaire ne connaissant pas l'érosion, toute poussière y est très abrasive ce qui complique singulièrement l'implantation d'un établissement durable.

D'autres chercheurs reconnaissent qu'une telle ambition supposerait encore nombre de développements technologiques, mais font valoir que **les industriels français se placent d'ores et déjà au premier rang mondial pour les technologies utiles aux missions interplanétaires**. Les missions Mars express, Juice ou Rosetta ont permis à Airbus Defence & Space de développer et de prouver sa maîtrise des technologies de rendez-vous extra-atmosphérique, de « *fly by* » ou de réveil des objets spatiaux à leur arrivée au point de

« rendez-vous » après une longue hibernation. De même, comme l'a fait valoir M. Alain Charneau, « *Ariane 5 peut aller loin* ».

- *Des enjeux de sécurité et de souveraineté*

La France et l'Europe peuvent-elles se désintéresser de ces projets, en raison des doutes sur leur faisabilité ? Les rapporteurs considèrent que, même si leur probabilité de succès est à ce jour limitée, ils revêtent trop d'enjeux de souveraineté et de sécurité pour que la France et l'Europe s'en désintéressent. Ces enjeux sont de plusieurs ordres :

– la **sécurité des approvisionnements**, qui fait partie de la stratégie nationale de défense définie par les derniers Livres blancs et la revue stratégique de 2017. En effet, des approvisionnements essentiels pour la Nation peuvent se tarir, en raison de l'attrition des ressources naturelles, des coûts financiers ou environnementaux découlant de modes d'exploitation de plus en plus complexes (par exemple *offshore*), ou d'une décision délibérée de restrictions d'exportations de la part d'un État producteur en situation de monopole. À ce titre, l'exploitation des ressources spatiales pourrait revêtir à terme un enjeu stratégique ;

– la **consolidation de la base industrielle et technologique** française en matière spatiale. Que les projets d'exploitation des ressources minières spatiales aboutissent effectivement ou non, l'écosystème de R&D et d'industrie qui les conduira aura toutes les chances d'en tirer une avance technologique majeure dans des domaines susceptibles d'avoir d'autres applications, y compris militaires. On pourrait citer à ce titre les rendez-vous dans l'espace, les services orbitaux ou les techniques de retours sur Terre. En outre, les premiers industriels à prendre des positions dominantes dans ces domaines ont toutes les chances d'en établir les standards, ce qui présente toujours un intérêt en matière technologique ;

– la **sécurisation d'éventuels moyens de transport** de matières premières, au même titre que la sécurisation de nos moyens spatiaux en général. En effet, si le transport de matières premières coûteuses entre la Terre et d'autres corps célestes devait devenir une industrie, il conviendrait de s'interroger sur les conditions de sécurisation de ces transports. Le parallèle avec la découverte des Amériques est d'ailleurs souvent revenu dans les entretiens conduits par les rapporteurs : si, un jour, des « galions de l'espace » devaient effectuer des trajets longs et réguliers chargés de matières premières – comme jadis les galions espagnols pour le transport de l'or des Amériques –, rien ne dit que les pirates et les corsaires d'alors ne trouveraient pas dans l'espace au XXI<sup>e</sup> siècle de lointains successeurs. Ainsi, l'enjeu pour la souveraineté de l'Europe, dans un tel scénario, tiendrait non seulement à l'accès à ces ressources mais aussi à la sécurisation de ces accès.

- *Un intérêt technologique certain*

Que de telles ambitions soient couronnées de succès ou non, elles conduisent à investir dans des développements technologiques utiles par ailleurs, par exemple en matière de rendez-vous dans l'espace ou de rentrée atmosphérique.

De surcroît, s'agissant de projets supposés avoir un jour une forme de rentabilité, un objectif de maîtrise des coûts pèse sur les développements technologiques en question, ce qui peut conduire à imaginer des solutions très innovantes, par exemple pour le lancement des engins et la récupération de leurs équipements.

C'est à ce titre qu'à l'initiative de Mme Bono-Vandorme et M. Stéphane Trompille, l'Assemblée nationale a inséré dans le rapport annexé au projet de loi de programmation militaire un amendement mentionnant les possibilités d'exploitation des ressources de l'espace.

## **2. Un nécessaire renouvellement de la réflexion stratégique**

Alors qu'elle comporte de longs développements sur le « *renforcement des menaces dans le cyberspace* », **la Revue stratégique de 2017 est nettement moins diserte concernant les risques et les menaces dans l'espace exo-atmosphérique**, qu'elle identifie pourtant comme étant plus lui aussi « *contesté* » qu'auparavant. Si elle constate avec justesse que « *le problème de l'arsenalisation de l'espace se pose donc dans des termes renouvelés* », elle ne trace pour y répondre que deux axes stratégiques qui s'inscrivent dans la continuité des développements spatiaux précédents :

– une **politique coopérative** : la France « *continuera à s'investir pleinement au profit d'une vision des rapports de force et de puissance régulés par le droit* » dans l'espace exo-atmosphérique, avec « *un effort particulier d'élaboration de normes de comportement permettant de garantir la stabilité stratégique* » ;

– des **moyens défensifs** de nos moyens spatiaux : il s'agit de « *développer leur protection et, en coopération étroite avec nos alliés américains et européens, leur éventuelle redondance supplémentaire* ».

Si, bien évidemment, cette approche défensive et coopérative est moralement louable, elle paraît aux yeux des rapporteurs présenter un risque de décalage avec l'intensité des tensions et des possibles confrontations dans l'espace. En outre, la Revue stratégique ne donne pas un cap clair à la politique industrielle et technologique en matière spatiale. Pour toutes ces raisons, un renouvellement de la réflexion stratégique sur les enjeux de défense dans l'espace semble justifié.

*a. D'autres États élaborent des stratégies de défense spatiale*

Lors de leur déplacement aux États-Unis, les rapporteurs ont pu se faire présenter les premières orientations de stratégie de défense spatiale qui ressortent des travaux engagés par l'administration américaine en ce sens.

- i. Une réflexion stratégique sur l'espace sous un angle spécifiquement militaire

**Un rapport sur la stratégie spatiale américaine, y compris l'idée d'une *Space Force*, devait être remis au Président** dans le mois suivant le déplacement des rapporteurs. Ceux-ci ont pu constater, à l'occasion de leurs entretiens au Congrès comme au Pentagone, que cette stratégie fait l'objet de débats ; la poursuite de l'examen de la proposition de loi susmentionnée visant à instituer une *Space Force* constitue un aspect de ces débats. L'objectif général de ce travail consiste, selon les explications de M. Mike Rogers, à « **rester dans la course** » **face à la concurrence chinoise**, sur laquelle l'avance américaine n'est plus aussi nette qu'auparavant, dans un contexte de forte dépendance aux moyens spatiaux et de vulnérabilité croissante de ceux-ci. Comme l'a expliqué M. Ro Khanna, un des enjeux de cette réflexion stratégique consiste à réorganiser les services existants, chaque armée ayant pour l'heure ses propres capacités en matière spatiale. En outre, le rôle de la garde nationale est aussi en question ; aux yeux de M. Ro Khanna et des membres du groupe démocrate, un recours substantiel à la garde nationale permettrait aux armées de s'attacher l'appui de spécialistes du spatial civil, y compris du *New Space*, souvent les plus au fait des derniers développements technologiques.

MM. Todd Harrison et Thomas Karako, au CSIS, ont souligné que **l'élaboration d'une stratégie spatiale par le *Department of Defense*, donc d'une stratégie spatiale spécifiquement militaire, constitue une nouveauté**. En effet, si les États-Unis possèdent bien une stratégie spatiale nationale, ils n'ont jusqu'à présent élaboré aucun document abordant la question sous l'angle de la défense. Cette stratégie traitera non seulement de l'organisation des capacités militaires américaines, mais aussi de la doctrine et de la posture des États-Unis dans le secteur spatial de défense.

- ii. Une doctrine qui n'exclurait plus la conduite d'actions contre-offensives dans l'espace

Au *Department of Defense*, M. John Hill – qui, rappelons-le, a qualifié de « *mythe* » la non-arsenalisation de l'espace et d'« *hypocrisie* » l'invocation de son principe par les Russes et les Chinois, compte tenu de leurs capacités d'action y compris cinétique dans l'espace – a expliqué que la stratégie de défense spatiale en cours d'élaboration devrait établir une doctrine qui organisera la réponse américaine à toute agression contre un satellite américain.

La planification des moyens de réponse à des agressions spatiales reposera d'après lui donc sur un **principe de décloisonnement** :

– en cas d'attaque contre les intérêts américains dans l'espace, les États-Unis répliqueront à coup sûr, mais pas nécessairement dans le milieu spatial ;

– à l'inverse, les États-Unis protégeront leurs forces armées dans tous les milieux contre toute capacité ennemie reposant sur des moyens spatiaux (*space-enabled means*).

Ainsi, la doctrine américaine semble en passe de faire « tomber le tabou » de l'action militaire dans l'espace, au moins à titre contre-offensif.

Au CSIS, MM. Todd Harrison et Thomas Karako ont cependant expliqué que, compte tenu de la dépendance de la société et des armées américaines aux moyens orbitaux, la politique des États-Unis doit viser à éviter les conflits dans l'espace ou, à tout le moins, les conflits « cinétiques », afin d'éviter la formation de débris préjudiciables à toutes les capacités spatiales, y compris les leurs. Les travaux stratégiques en cours portent donc, d'une part, sur le développement des moyens non-cinétiques d'action dans l'espace et, surtout, sur la réduction de la vulnérabilité spatiale des organisations civiles et militaires. Ils ont fait valoir **la variété des moyens « non-cinétiques »** envisageables, citant notamment ceux de **brouillage**, les armes à énergie dirigée – **laser**, **micro-ondes** –, les moyens **cybernétiques** et ceux de **spoofing** (c'est-à-dire de manipulation d'instruments de façon à en fausser les résultats). En particulier, pour le CSIS, les États-Unis gagneraient à développer leurs capacités de brouillage, qui ont l'avantage d'être temporaires, réversibles et non létales. M. Thomas Karako a ajouté que **l'intérêt des moyens de brouillage tient aussi au fait que leur seuil d'emploi est moins élevé que pour d'autres moyens d'action**. Ainsi, rien n'interdit à ses yeux d'envisager qu'un État utilise des instruments de brouillage avant même qu'éclate un véritable conflit, au sens généralement donné à ce terme. Pour MM. Todd Harrison et Thomas Karako, « *l'idéal serait de démontrer une capacité à brouiller des moyens terrestres depuis l'espace* ».

### iii. Un accent sur la résilience des capacités spatiales

Au *Department of Defense*, M. John Hill a précisé que la stratégie de défense spatiale érigera en priorité pour l'allocation des ressources financières **l'amélioration de la résilience des capacités spatiales** américaines, c'est-à-dire la défense des moyens spatiaux et la réparation des éventuels dommages qu'ils subiraient. Selon ses explications, deux principales orientations sont retenues pour accroître la résilience de ces capacités :

– la **diversification des moyens spatiaux**, qui doit se traduire par une transformation de l'architecture générale des capacités spatiales conduisant à privilégier la dissémination des satellites, le cas échéant avec des engins duaux, plutôt que les grands systèmes orbitaux complexes, lourds et peu redondants ;

– la **coopération avec les alliés**, sur les moyens spatiaux desquels les États-Unis pourraient compter en cas de dommages faits aux leurs, et réciproquement.

***b. La France gagnerait à établir elle aussi une doctrine de défense spatiale, dont découleraient le cas échéant une programmation capacitaire et des mesures d'organisation des forces***

Le 13 juillet 2018, au moment même où il promulguait la loi de programmation militaire pour les années 2019 à 2025, le président de la République a souhaité l'élaboration d'une stratégie spatiale. Le ministre des Armées en a donné le cadre le 7 septembre dans un discours ouvert par le rappel des manœuvres inamicales d'un satellite russe envers un satellite militaire franco-italien. Depuis, les travaux de l'Exécutif se poursuivent. Selon les informations des rapporteurs, un groupe de travail a été constitué au sein du ministère des Armées, tandis que des travaux interministériels sont en cours en parallèle, en vue de l'élaboration d'une stratégie spatiale de défense.

Comme l'ont bien souligné les spécialistes du COSMOS, face à l'arsenalisation de l'espace, **l'élaboration d'une stratégie spatiale cohérente doit passer en premier lieu par l'établissement d'une doctrine**, elle-même à décliner en directives précisant, pour chaque type d'action touchant à nos intérêts spatiaux et pour chaque acteur – étatique ou non – qui en serait l'auteur, quelles réponses la France pourrait y apporter. C'est en effet de la définition des actions que la France entend entreprendre dans l'espace que doit découler le volet capacitaire de la stratégie spatiale, et non l'inverse.

***i. D'abord, une doctrine***

Pour les rapporteurs, aussi louable que soit l'attachement de la France au principe de non-arsenalisation de l'espace interprété de façon extensive, la réalité des risques et des menaces ne laisse plus guère aujourd'hui le choix : il faut *a minima* envisager des moyens de répondre par la force aux atteintes à nos moyens spatiaux, voire se donner la liberté d'atteindre ceux d'un adversaire.

Le chef d'état-major de l'armée de l'air a d'ailleurs indiqué aux rapporteurs que **des actions offensives ou contre-offensives – mais pas seulement défensives – sont à l'étude**, et comme tel a été le cas avec le cyber, la question est de savoir « où *placer le curseur* », avec deux enjeux supplémentaires : d'une part, le risque de créer des débris, « *ce qui est catastrophique* » et, d'autre part, des « **enjeux de politique déclaratoire** ».

Pour de telles actions, a fait valoir le général, une gradation existe dans l'importance des atteintes ; « *en deçà de la destruction, il y a le brouillage, l'éblouissement, l'arrêt – à l'image de ce qui est envisagé pour la lutte contre les drones –, ou l'évitement* », que rendra d'ailleurs plus aisé le résultat très attendu d'études en cours sur la manœuvrabilité des satellites. Ainsi, « *le panel des actions possibles avant la destruction est étendu* ».

ii. Ensuite, une programmation capacitaire

Comme on l'a dit, la loi de programmation militaire pour les années 2019 à 2025 pourvoit au renouvellement ou à la modernisation de l'ensemble des capacités spatiales majeures des armées, pour un investissement de 3,6 milliards d'euros, ce qui constitue un effort financier substantiel.

Néanmoins, ce faisant, elle ne prévoit pas d'investir dans des capacités véritablement nouvelles, comme l'innovation technologique dans le domaine spatial permettrait d'envisager de le faire. En ce sens, elle ne peut pas être vue comme véritablement ambitieuse ; elle constitue un socle *a minima* de modernisation des capacités actuelles, sans aller au-delà, ce que le contexte stratégique pourrait pourtant justifier.

Certes, les moyens des armées, même croissants, ne sont pas illimités et le secteur spatial n'est pas la seule priorité d'investissement du ministère. Néanmoins, pour prendre en compte les besoins nouveaux liés à l'évolution du contexte spatial, plusieurs leviers sont envisageables :

– *a minima*, le lancement d'études amont ;

– la mobilisation de crédits affectés à la recherche duale ;

– l'exploitation des marges de manœuvre qui résulteraient d'éventuels retards dans certains programmes, ce pour quoi l'actualisation de la programmation militaire prévue pour l'année 2021 offrirait une occasion ;

– l'élaboration d'une programmation assortie d'un échéancier d'investissements dépassant l'horizon de 2025 pour couvrir aussi la prochaine période de programmation militaire.

iii. Enfin, d'éventuels ajustements dans la gouvernance du secteur spatial de défense

Aux yeux des rapporteurs, un des risques dans les débats sur une stratégie de défense spatiale réside dans la possible focalisation des réflexions sur les aspects d'organisation. Concrètement, il serait regrettable que les réflexions se limitent à la question de savoir s'il faut ou non créer une « Space Force à la française », à l'instar des projets américains dont l'encadré ci-après présente l'état d'avancement. D'ailleurs, les rapporteurs ont pu observer que c'est sous cet angle que nombre de commentateurs abordent les réflexions stratégiques américaines sur la défense spatiale et que, trop souvent, c'est à ce sujet qu'ils limitent leurs analyses.

## LES PROJETS DE *SPACE FORCE* AUX ÉTATS-UNIS

- Une initiative parlementaire

En 2017, une initiative bipartisane à la Chambre des Représentants a abouti à l'élaboration d'un projet de loi tendant à créer une *Space Force*, c'est-à-dire une force armée spécifiquement consacrée à la défense spatiale. Il est à noter qu'aux États-Unis, la création d'une force armée nécessite un vote du Parlement, ce qui n'est pas le cas en France.

Faute d'accord complet entre la Chambre et le Sénat – ce que le *Congressman* Mike Rogers impute au *lobbying* de l'armée de l'air, peu désireuse de perdre une partie de ses missions et donc de ses moyens –, les parlementaires sont venus d'étudier de nouveau le sujet sur la base de propositions que leur soumettra le Président. Le *Department of Defense*, chargé par le Président d'instruire le dossier, s'est déclaré favorable à la création d'une *Space Force* dont les moyens, le périmètre et l'organisation restent en débat.

- Une initiative motivée par le souci de sanctuariser les moyens de la défense spatiale

Selon les explications de M. Mike Rogers, « 90 % des moyens spatiaux du Department of Defense relèvent de l'armée de l'air », mais **les moyens spatiaux font régulièrement l'objet d'arbitrages défavorables** car, selon lui, la mission de défense spatiale « est et restera toujours secondaire » dans les missions de l'armée de l'air, façonnée par la culture de la supériorité aérienne dans le combat d'aviation, et non sur les enjeux spatiaux. Aussi la création d'une *Space Force* vise-t-elle trois objectifs :

- **sanctuariser les crédits** alloués aux moyens spatiaux ;

- mettre sur pied une **organisation « agile » pour le pilotage des programmes** de défense spatiale. Selon M. Mike Rogers, ceux-ci durent aujourd'hui « huit à dix ans » du fait de la « *bureaucratie de l'armée de l'air* », contre « 18 mois dans le privé » ; un délai moyen de « deux à trois ans » constituerait pour lui un objectif raisonnable ;

- mettre en place une **filière de ressources humaines spécialisée**, de façon à faire émerger des spécialistes de la défense spatiale qui n'aient pas à renoncer à une carrière brillante dans l'armée de l'air.

M. Mike Rogers dresse d'ailleurs un parallèle entre l'évolution de l'organisation des armées américaines en matière de cyberdéfense et en matière de défense spatiale. Pour lui, l'autonomisation des organes chargés de ces activités est également inéluctable. Ainsi, la création d'une force autonome dont la mission est centrée sur la défense dans le milieu spatial constitue à ses yeux une « **évolution historique logique** » : de même qu'au milieu du XX<sup>e</sup> siècle, l'armée de l'air a pris son autonomie organique par rapport à l'armée de terre car la défense aérienne était négligée dans l'allocation des ressources par l'armée de terre, de même, aujourd'hui, l'entité organique chargée de la défense spatiale a vocation à se séparer de l'armée de l'air « *comme un adolescent a vocation à prendre tôt ou tard son indépendance...* »

- Une réforme organisationnelle

D'après les précisions de M. John Hill et de ses adjoints, le projet du *Department of Defense* pour la création d'une *Space Force* s'inscrit dans un double mouvement de réorganisation des structures du Département :

- l'un concerne la réorganisation des *Unified Combatant Commands*. Il s'agit aujourd'hui de dix commandements interarmées structurant les forces américaines en six domaines géographiques et quatre domaines fonctionnels d'opérations. C'est le *Strategic Command* qui est actuellement compétent en matière spatiale, mais sa mission principale tient à la dissuasion nucléaire plutôt qu'à la défense spatiale. Afin d'éviter des effets



d'éviction au détriment de cette dernière, il est envisagé de **créer un *Unified Combatant Command* ayant la défense spatiale pour seule mission** ;

– l'autre vise à **rassembler les moyens spatiaux des quatre forces armées américaines**, au sein des missions desquelles la défense spatiale revêt nécessairement un caractère secondaire par rapport à leur mission principale, avec pour conséquence des effets d'éviction dans l'allocation des ressources humaines et financières.

- Un projet dont les modalités restent à définir

C'est le Congrès qui définira le périmètre des missions ainsi que l'organisation de la *Space Force*, le cas échéant en retenant des paramètres différents de ceux proposés par l'administration.

Selon M. Mike Rogers, il est possible que le Président propose de doter la *Space Force* d'un périmètre de compétences très large, incluant certaines activités de la NASA et les moyens spatiaux des agences de renseignement. De même, le Président pourrait proposer d'instituer un *Department of Space*, de la même façon qu'existent aujourd'hui un *Department of the Army*, un *Department of the Navy* et un *Department of the Air Force*. M. Mike Rogers a indiqué que le compromis trouvé entre Démocrates et Républicains à la Chambre en 2017 reposait cependant sur une vision plus limitée de la *Space Force* :

– le périmètre de compétence de celle-ci ne s'étendrait ni aux activités de la NASA, ni à celles des services de renseignement ;

– les représentants n'envisageaient pas la création d'un département ministériel *ad hoc* par souci, selon M. Mike Rogers, d'éviter toute « *bureaucratie* », préférant constituer une force armée autonome au sein du *Department of the Air Force*.

Le contexte politique général, marqué par le changement de majorité à la Chambre en faveur des Démocrates et par d'évidentes tensions entre eux et le Président, pourrait conduire les représentants à reprendre l'architecture qu'ils avaient imaginée pour cette *Space Force*. Celle-ci, en effet, convient aux Républicains tout en permettant aux Démocrates de se démarquer des projets du président Donald Trump – lequel, « *de toute façon, revendiquera comme un grand succès personnel la création d'une Space Force, qu'elle corresponde à son projet ou non* ».

- Un signal d'une grande portée politique

L'ambassadeur de France aux États-Unis a éclairé les projets américains par les commentaires suivants :

– la création d'une *Space Force* peut constituer un signal adressé aux compétiteurs stratégiques des États-Unis et comme **une façon d'assumer une forme d'arsenalisation de l'espace et des postures offensives plus affirmées** ;

– ce projet de *Space Force* fait inmanquablement **écho à l'initiative de défense stratégique**, ou « guerre des étoiles », avancée par le Président Reagan au temps de la guerre froide. Ce faisant, il renvoie à une vision clairement non-coopérative des rapports internationaux : une sorte de nouvelle guerre froide dans laquelle la Chine serait le nouvel adversaire stratégique.

Pour les rapporteurs, les ajustements organisationnels à opérer le cas échéant dans la gouvernance du secteur spatial de défense français doivent répondre avant tout à deux enjeux majeurs :

– trouver au sein du ministère des Armées un « sponsor » pour les programmes spatiaux. M. Philippe Coq a ainsi fait valoir que **l'absence de**

« **sponsors** » **parmi les états-majors n'a pas aidé** à la prise en compte de ces enjeux dans les arbitrages fins de la programmation militaire, bien que les besoins de financement ne soient pas excessifs ;

– accélérer la boucle de décision dans les opérations spatiales de façon cohérente avec le rythme de plus en plus soutenu de celles-ci du fait du développement de vecteurs spatiaux hyper-manceuvrants.

### **3. Une stratégie de défense spatiale crédible pour la France doit exploiter au mieux le caractère dual du secteur spatial**

L'exploitation de la dualité des technologies et des compétences qui caractérise le secteur spatial doit permettre à la fois de consolider la base industrielle et technologique de défense, de développer la résilience des infrastructures spatiales critiques et d'éviter de coûteuses duplications de moyens.

#### ***a. Consolider la base industrielle et technologique de défense***

##### **i. En consentant les investissements duaux qui s'imposent**

Comme l'a souligné M. Jean-Yves Le Gall, le secteur spatial vit ces dernières années une évolution « à marche forcée » avec une diminution des coûts et une forte croissance du marché. États, entreprises et organismes financiers ont tous augmenté significativement leurs investissements dans le secteur. Ainsi, la NASA augmente son budget de deux milliards de dollars par an, et les investissements en capital-risque ont été multipliés par quinze en trois ans, atteignant trois milliards de dollars en 2016. Dans ce contexte, l'augmentation significative des crédits du programme 193 « Recherche spatiale (civile et militaire) » prévue entre 2018 et 2022 démontre la priorité qui est accordée à la politique spatiale par le Gouvernement. L'année 2019 verra en particulier une progression de 13 % de l'enveloppe de ressources consacrée à ce programme, pour atteindre 1,8 milliard d'euros. Dans un tel contexte, et compte tenu de la fin des premier et deuxième programmes d'investissement d'avenir (PIA), qui avaient respectivement alloué au secteur spatial 500 millions et 61,5 millions d'euros, M. Jean-Yves Le Gall a jugé « *paradoxal* » **que le troisième programme d'investissements d'avenir et le « grand plan d'investissement » ne prévoient aucun soutien au secteur spatial**, au contraire des filières aéronautiques et micro-électroniques par exemple.

Or, de nombreux projets et opportunités émergent et il serait justement **nécessaire d'accélérer les investissements**. Le CNES fait donc la promotion de plusieurs dossiers, empreints d'une forte dose d'innovation et répondant à des enjeux sociétaux majeurs, liés à la transformation économique, à la compétitivité du secteur spatial et au maintien du leadership français et européen.

- ii. En développant les dispositifs publics ou privés de soutien à l'innovation

Selon M. Jean-Yves Le Gall, dans le domaine des systèmes orbitaux, l'enjeu pour la France est **à la fois de soutenir l'écosystème spatial traditionnel et de favoriser l'émergence sur le territoire national de solutions alternatives – notamment une filière de nano-satellites** – afin de maintenir le *leadership* français dans le secteur spatial et de dynamiser l'économie associée. L'effort financier national est très significatif dans ce domaine et secondé par les programmes de la Commission européenne, qui semble d'ailleurs ne pas mettre autant en avant le secteur spatial dans le nouveau programme « Horizon Europe » que dans l'actuel programme « Horizon 2020 ». **Le soutien public aux activités dites d'innovation de rupture pourrait probablement être renforcé** afin d'armer notre industrie face aux éventuelles ruptures technologiques, susceptibles de bousculer leur positionnement sur la scène internationale. L'encadré ci-après présente les initiatives du CNES en faveur de l'innovation.

Dans le domaine des lanceurs, pour le président du CNES, « *force est en revanche de constater la faiblesse des efforts de recherche européens face à ceux déployés aux États-Unis et en Chine* ».

#### L'ACTION DU CNES EN FAVEUR DE L'INNOVATION

- Une politique de soutien à l'innovation

En 2016, le CNES a mis en place la direction de l'innovation des applications et de la science (DIA) avec en son sein une sous-direction dédiée au développement des services aval (DIA/SA) et une sous-direction dédiée à l'innovation et à la prospective (DIA/IP). Ces deux entités nouvelles ont conjugué leurs efforts pour **soutenir l'émergence d'un écosystème spatial national de rupture**.

Dans ce cadre général, **les activités d'innovation et de prospective ont été regroupées dans un plan**, qui prévoit le déploiement d'un jeu d'outils pour soutenir toutes les catégories d'acteurs – des citoyens aux *start-up* en passant par les grands groupes –, anticiper les tendances et les évolutions à long terme du secteur spatial et des écosystèmes corrélés à ce secteur, soutenir la créativité et la transformation des processus au sein du CNES et gérer l'*open innovation*, avec développement d'entités innovantes appelées soit à demeurer au sein de l'établissement – on parle de *spin-in* – soit à s'en émanciper – on parle alors de *spin-off*.

Selon les explications du CNES, l'objectif était de **répondre aux attentes de tous les acteurs susceptibles de contribuer à l'émergence de l'écosystème de rupture** : les amateurs, les étudiants, les créateurs de *start-up*, les acteurs du tissu industriel qui décideraient de mettre en œuvre des actions d'innovation de rupture, ceux du tissu économique externe au secteur spatial qui envisageaient de se diversifier et d'investir dans ce secteur désormais considéré comme attractif – et non plus comme technologiquement critique et dominé par les enjeux stratégiques des États – et le secteur de la recherche, qu'il s'agisse de sciences dures ou de sciences humaines et sociales.

**L'approche prudente fondée sur le soutien au cas par cas** qui a été retenue par le CNES produit selon M. Jean-Yves Le Gall « *des résultats plus ou moins perceptibles en fonction de la dynamique déjà existante, de la stratégie plus ou moins affirmée des acteurs et de l'enthousiasme généré par les initiatives du CNES* », qui ont un effet de levier.

- Des publics variés

S'agissant des **étudiants en sciences**, le **programme Janus** a permis de soutenir la mise en place et le déploiement d'une douzaine de projets de *cubesats* dans des centres universitaires répartis sur le territoire national comme le montre la carte ci-après. En complément, des conventions avec les universités et écoles supérieures ont permis de mettre en œuvre des projets éducatifs qui touchent 300 à 500 étudiants par an et concernent des domaines aussi variés que des *rovers* planétaires ou des drones martiens. Désormais, les projets associent des étudiants dans les secteurs de l'ingénierie avec ceux du secteur de l'économie. Les travaux menés avec les étudiants sont désormais devenus des **vecteurs de coopération avec des pays ne disposant pas encore d'acteurs industriels ou scientifiques** dans le domaine spatial. Enfin, l'université d'été Univspace voit son succès consolidé avec un nombre de participants en augmentation, un enthousiasme renouvelé et des perspectives d'élargissement en coopération avec des initiatives similaires émanant d'autres acteurs nationaux.

Dans le domaine des **sciences humaines et sociales**, les actions engagées ces dernières années ont été consolidées et complétées pour couvrir un large panel de disciplines. Ainsi, la **chaire Sirius** de droit et d'économie liés au secteur spatial auprès de l'université Capitole 1 et de la Toulouse Business School (en partenariat avec les industriels Thales Alenia Space et Airbus Defence & Space) a été reconduite. De même, des recherches dans un grand nombre de disciplines – telles la sociologie, l'ethnologie, la gestion de l'innovation, la géographie, l'histoire, la géopolitique, la démographie, l'éthique ou la macroéconomie – ont été soutenues dans la perspective de la mise en place d'un **incubateur de recherche transverse** autour des enjeux spatiaux. Le rapport du *Committee on Space Research* <sup>(1)</sup> (COSPAR) pour 2018 fait mention de cette dynamique et de résultats reconnus pour certaines recherches.

**Des actions d'accompagnement ponctuel ont été par ailleurs conduites au profit d'une vingtaine de start-up dans le domaine de l'infrastructure spatiale** : développement de solutions spatiales à base de nano-satellites, offre d'équipements de bord ou au sol, soutien au développement de l'économie spatiale. Parmi ces *start-up*, certaines ont acquis une notoriété substantielle – telle Starburst –, quelques-unes ont déjà réussi un premier « tour de table » financier – telles Earthcube, ThrustMe ou Exotrail – et d'autres ont encore une action modeste mais prometteuse – le CNES citant par exemple MyAfricanstartup. Le CNES, dans ces actions, analyse la feuille de route stratégique de ces *start-up*, identifie et met en œuvre « dans un calendrier serré » une action à fort effet de levier – ses représentants ont cité comme exemples la validation de performances, des « beta tests », la recherche de partenaires, l'expertise technique et l'achat d'une prestation

Concernant les acteurs industriels mettant en place des actions d'innovation de rupture, l'action du CNES se limite à ce stade à des **actions pilotes chez Thales Alenia Space, Airbus Defence & Space et Sodern**. M. Jean-Yves Le Gall a fait valoir qu'« une dynamique est cependant enclenchée » et indiqué qu'« un cadre de travail générique devrait pouvoir être élaboré sur cette base » en 2019.

Pour le CNES, le dynamisme du **milieu des amateurs** doit aussi être exploité. Dans cette logique, une initiative appelée « Fédération » a été lancée à l'occasion du Salon de l'air et de l'espace du Bourget en 2017. Celle-ci vise à ouvrir le monde du spatial au plus grand nombre et à mettre en place et animer un écosystème inspiré de l'économie collaborative, afin de faire émerger de nouveaux concepts spatiaux susceptibles d'être développés de manière collaborative en faisant appel le cas échéant à des modes de financements innovants comme le *crowdfunding*. Dès novembre 2017, une première association d'amateurs appelée

---

(1) Groupe scientifique international de haut niveau fondé en 1958.

*Open Space Maker* était constituée et une plateforme numérique permettant la mise en relation de tous les acteurs est désormais accessible, cinq projets étant déjà actifs.

- Space'ibles

En matière d'anticipation, l'initiative principale prise par le CNES a consisté à mettre en place en novembre 2017 **l'observatoire de prospective spatiale appelé « Space'ibles »**. Cet observatoire bénéficie déjà de la contribution de 60 organismes différents issus de plus de vingt secteurs économiques, comptant un *think tank* de prospective, des industriels du spatial, d'autres industriels, et des autorités du monde académique. Ces acteurs se sont regroupés pour établir des scénarios de futurs possibles autour de quatre thématiques : « Besoin d'espace de nos sociétés futures » ; « Vivre et produire dans l'espace » ; « Enjeux éthiques et juridiques de la conquête spatiale » ; « Évolution du rôle des agences ». Selon le CNES, des liens et des discussions de collaborations nouvelles entre certains de ces acteurs commencent à apparaître.

- Les COMET

Les **communautés d'experts (COMET)** mises en place par le CNES se sont ouvertes à des acteurs hors du secteur spatial – comme Renault – et hors de France (notamment l'ESA) afin d'élargir leurs réflexions au-delà des thèmes traditionnellement abordés par les acteurs du spatial. Des sujets comme la **cybersécurité** ou le **management** ont ainsi pu être traités. Avec leurs **65 événements annuels**, les COMET constituent aujourd'hui une source d'innovations.

Ainsi, la mission d'une agence nationale comme le CNES consiste à répondre simultanément à des enjeux aux dynamiques temporelles très différentes

- maintenir l'excellence nationale en matière de **science** ;
- favoriser la **compétitivité des acteurs de la filière française sur les marchés déjà établis** et sur lesquels ils ont su se placer efficacement ;
- **soutenir un écosystème émergent** et l'arrivée d'acteurs nouveaux prenant position au carrefour des services et des infrastructures ;
- soutenir un **plan de développement technologique ambitieux** répondant aux évolutions des solutions spatiales envisagées à **moyen terme**.

iii. Un soutien qui ne se limite pas aux *start-up*

M. Jean-Yves Le Gall a souligné qu'ainsi, le soutien à l'innovation ne se limite pas au soutien aux *start-up*. En effet, la robustesse de l'écosystème industriel spatial européen doit être vue comme un atout car l'expérience montre que, **dans une dynamique fortement innovante, ce sont les grands acteurs qui sont capables d'amplifier les initiatives des acteurs émergents**, « *sous réserve que ceux-ci survivent à un marché très sélectif et que leurs propositions soient pertinentes* ». De fait, les principaux acteurs du secteur ont mis en place des **plans d'innovation** qui leur permettent de surveiller les actions des jeunes pousses et de prendre dans ceux-ci des participations au moment propice pour bénéficier de leur succès. Thales Alenia Space comme Airbus Defence & Space ont présenté aux rapporteurs leurs plans en la matière.

Il importe en revanche que les acteurs externes au secteur spatial, qui sont capables de rivaliser au niveau mondial dans leur secteur, envisagent de **diversifier leurs activités vers le secteur spatial et y investissent**. À cet égard, même si des mesures concrètes font encore défaut, M. Jean-Yves Le Gall a signalé que des évolutions positives sont observées dans le cadre des travaux menés au sein de **l’observatoire de prospective spatiale Space’ibles, dont les deux tiers des acteurs n’appartiennent pas au secteur spatial**.

De plus, un **foisonnement de jeunes pousses, actives simultanément dans le domaine du service et dans celui des infrastructures**, est également nécessaire. L’expérience montre en effet que **ce sont les opérateurs de service qui dégagent des bénéfices** plutôt que les développeurs d’infrastructure. Or, la perspective des bénéfices facilite l’implication de **fonds d’investissement spéculatifs**, alors que leur apport financier est nécessaire pour développer les infrastructures. À ce stade cependant, peu de jeunes entreprises présentent ce profil.

#### *b. Développer la résilience des infrastructures spatiales critiques*

Le *Department of Defense* présente la possibilité pour les armées de s’adosser à certains moyens spatiaux commerciaux comme concourant à la redondance et donc à la résilience de ses capacités orbitales. De la même façon, la France et l’Europe peuvent d’autant plus aisément le faire elles aussi, que leurs industriels occupent des places de premier rang parmi les acteurs de la fabrication comme de l’exploitation des satellites.

Mais, pour exploiter ainsi les possibilités offertes par la dualité des technologies dans un contexte de croissance des menaces et des risques, encore faut-il que les systèmes spatiaux commerciaux présentent des garanties suffisantes de sécurité. Tel est l’un des principaux enjeux de travaux en cours sur la normalisation des engins spatiaux.

Comme l’a expliqué le président de la *Satellite Industry Association* américaine, **certains plaident pour l’imposition de règles, d’autres pour la publication de bonnes pratiques** moins contraignantes. Une association de droit américain appelée CONFERS s’est d’ailleurs donné pour objet de définir de bonnes pratiques.

#### *c. Éviter de coûteuses duplications de moyens*

Le modèle retenu par la France pour l’opération de ses satellites militaires s’avère particulièrement efficient. Il exploite au mieux les compétences de très haut niveau – donc rares et coûteuses – que possède le CNES et, contrairement à celle du CEA, l’organisation même du CNES ne repose pas sur une *summa divisio* entre applications civiles et applications militaires qui, elle aussi, pourrait engendrer des redondances.

Pour les rapporteurs, il n’y a pas de raison convaincante de revenir sur ce principe, qui a fait à la fois la preuve de son efficacité et de son efficience.

#### **4. Une stratégie française de défense spatiale efficiente peut utilement exploiter la dimension partenariale des activités spatiales**

Comme l’a souligné le chef d’état-major de l’armée de l’air, le contexte spatial a ceci de paradoxal que s’il devient un milieu de confrontation, **l’espace est aussi un lieu de coopération** : nombre de satellites sont développés en coopération, nombre d’informations sont échangées – notamment avec les États-Unis – et certaines capacités font l’objet d’un partage, par exemple entre observation radar et observation optique par satellite entre la France et l’Allemagne. La future stratégie française de défense spatiale devra en tenir compte et tirer le meilleur profit possible des partenariats envisageables.

##### ***a. La coopération spatiale européenne mérite des efforts de relance***

Pour la France, le premier cadre de partenariats dans l’espace et en matière militaire est, à l’évidence, l’Europe. Le partage des spécialités entre la France, l’Allemagne et l’Italie en matière d’observation spatiale militaire, formalisé par les accords de Turin et de Schwerin, en témoigne.

Toutefois, de façon très regrettable, la coopération européenne dans le secteur spatial de défense pâtit de deux phénomènes : d’une part, l’orientation essentiellement civile des missions de l’Agence spatiale européenne et, d’autre part, des forces centrifuges à l’œuvre entre Européens dans nombre de domaines et particulièrement en matière de technologies spatiales.

- i. Une coopération dans le secteur spatial de défense compliquée par des divergences de points de vue entre Européens parfois rivaux
  - *Tous les Européens n’accordent pas la même importance aux enjeux stratégiques qui s’attachent à l’espace*

Plusieurs observateurs, à l’instar de M. Jean-Jacques Dordain, estiment qu’en Europe, **la France est la seule puissance à avoir « une vision véritablement stratégique de l’espace »** ; d’autres États, même très puissants, ont des vues plus industrielles que stratégiques des enjeux du secteur. La France, seule, ne pourrait pas supporter des investissements spatiaux de même niveau que ceux des Américains ; en revanche, l’Europe possède « *largement* » la taille critique nécessaire.

Cependant, aux yeux de M. Jean-Jacques Dordain, « ***l’absence de dimension militaire dans la stratégie spatiale européenne a toujours été regrettable pour la défense et handicapante pour l’espace*** ». En effet, l’Europe est la seule puissance spatiale dans laquelle les développements ne sont pas tirés par la défense – situation que M. Jean-Jacques Dordain résume par l’aphorisme suivant : « *la première agence spatiale mondiale n’est pas la NASA : c’est le*

Department of Defense ». Il a indiqué qu'en 2004, moins d'un an après la prise de ses fonctions de directeur général de l'Agence, il a présenté au conseil de celle-ci un document de réflexion stratégique concernant son rôle en matière de défense, ce qui, précise-t-il, n'avait pas d'antécédent. Depuis lors, Galileo reste à peu près le seul programme dual dans l'activité de l'ESA. L'absence de dimension de défense constitue ainsi « *le premier déficit* » du système européen.

Faute d'une vision stratégique commune de l'espace, les positions des Européens peuvent ne pas s'accorder aisément lorsqu'entrent en jeu des considérations non seulement de science ou de technologie, mais aussi de souveraineté. Tel est le cas, par exemple, pour ce qui concerne l'autonomie d'accès à l'espace et les coûts afférents qu'il leur faut assumer.

- *La solidarité entre Européens ne l'emporte pas toujours*

Les rapporteurs relèvent avec regret des forces centrifuges dans la dynamique de la coopération spatiale européenne. Plusieurs signes montrent même que certains Européens entrent résolument en compétition avec d'autres.

Tel est le cas, par exemple, avec la décision de **l'Allemagne de développer une filière optique concurrente de CSO**. Les Allemands développent cette capacité optique d'une façon que nombre d'observateurs avertis qualifient de **non coopérative**, au prix d'un « *coup de canif* » **dans les accords de Schwerin**. En effet, conscients qu'un service de renseignement crédible ne peut aujourd'hui se passer d'une capacité d'imagerie optique, le *Bundesnachrichtendienst* (BND) – service de renseignement extérieur du gouvernement fédéral allemand – a récemment obtenu de développer un système autonome d'imagerie optique. Le délégué général pour l'armement a rapporté cette entreprise à une **volonté de rattrapage – et même de dépassement – de la France de la part de l'Allemagne** dans ce domaine technologique. Mme Caroline Laurent, directrice de la stratégie de la DGA, a précisé que l'Allemagne vise à porter son industrie spatiale au niveau l'industrie française avant toute négociation en vue d'une mise en commun de l'outil industriel. Aux yeux des rapporteurs, cette stratégie est particulièrement vaine face aux géants américains – et, demain, chinois –, la France et l'Allemagne risquant *in fine* d'être toutes deux reléguées à un rang secondaire par la compétition mondiale.

Cette entreprise non-coopérative des Allemands a pour conséquence qu'à la situation de dépendance mutuelle qui prévalait jusqu'alors, facteur de stabilité, risque de se substituer une dépendance unilatérale de la France à l'égard de l'Allemagne sur l'imagerie radar. **Dans ces conditions, M. Joël Barre a jugé légitime de se poser sérieusement la question du développement d'une capacité d'observation spatiale par imagerie radar en France**. En somme, pour le délégué général pour l'armement, une dynamique positive de coopération existe encore avec l'Allemagne, mais « *dans la relation bilatérale franco-allemande il y a une rivalité stratégique, technologique et industrielle : il ne faut pas se voiler la face, il faut la prendre en compte* ».



- *Le Brexit*

Par ailleurs, le **Brexit** pose de sérieux problèmes, dont témoigne par exemple la négociation autour de **Galileo**. La principale difficulté tient au signal sécurisé (dit PRS) de Galileo : les autorités européennes sont disposées à laisser aux Britanniques l'accès au signal PRS, mais le Royaume-Uni veut se prémunir contre tout risque de déni d'accès et disposer pour ce faire d'un moyen de contrôle de ce signal, ce qui est inacceptable pour les autres Européens. En ce sens, pour M. Jean-Loïc Galle, « *l'équation est insoluble* ».

ii. Une possible « fenêtre de tir » pour le lancement d'un projet fédérateur

- *Les possibilités ouvertes par la création du Fonds européen de la défense*

La mise en place du **Fonds européen de la défense**, instrument financier européen de développement des capacités militaires, doit faire l'objet d'une action préparatoire dès 2019. Dans ce cadre, la DGA a proposé à son homologue allemand de travailler en commun à l'échelle européenne dans **le domaine de la surveillance de l'espace**, la France possédant des radars de détection et l'Allemagne des radars d'identification, qui sont complémentaires.

Ce projet pourrait en quelque sorte prendre la suite d'études de l'Agence spatiale européenne visant à développer des capacités de protection des moyens satellitaires contre les risques liés aux débris en orbite. Selon les explications de M. Bruno Sainjon, ce projet a conduit l'Agence à réaliser deux démonstrateurs de radar de veille dont l'un réalisé par l'ONERA, à lancer des études technologiques pour des télescopes et à créer des prototypes de centres de traitement. Mais, a-t-il précisé, « *l'incapacité de l'Agence à bien gérer la politique de diffusion des données potentiellement classifiées a conduit à l'échec du segment "SST"* » – pour *Space Surveillance and Tracking* – du programme. La Commission a donc pris une initiative en 2014 en vue de poursuivre les travaux de développement d'une telle capacité. L'encadré ci-après en présente les développements.

**LE PROGRAMME EUROPÉEN *EU SPACE SURVEILLANCE & TRACKING*  
(EU-SST)**

- Face aux risques de collisions et de fragmentations, aux rentrées atmosphériques non contrôlées et aux manœuvres des satellites actifs, l'Union européenne a établi en avril 2014 un cadre de soutien à la surveillance de l'espace et au suivi des objets en orbite (SST), par la décision 541/2014/EU. Ce cadre a conduit à la création d'un **consortium d'États membres** (Allemagne, Espagne, France, Italie, Royaume-Uni) représentés par leurs agences spatiales et qui seront rejoints début 2019 par la Pologne, le Portugal et la Roumanie.

Le consortium EU-SST fournit depuis le 1<sup>er</sup> juillet 2016 des services d'analyse des risques de collision, de suivi des rentrées et de caractérisation des fragmentations dans l'espace, permettant aux opérateurs et utilisateurs des satellites nationaux et européens de disposer d'un service européen de haute qualité dans ce domaine crucial. La France assure, à travers le CNES, la présidence du consortium depuis juillet 2017 et l'exercera jusqu'à fin 2020, à la suite d'une décision à l'unanimité des huit États membres.

• M. Jean-Yves Le Gall a indiqué que sous la présidence française, le consortium « **progressé et évolué dans la bonne direction** ». Des décisions importantes ont été prises relatives à la gouvernance pour sortir de la prise de décisions à l'unanimité et évoluer vers une **majorité qualifiée** aux deux tiers. Un **nouveau modèle de fourniture des services** vient d'être décidé et repose sur la fourniture d'un service par un **centre opérationnel unique**, unique interface opérationnelle avec les utilisateurs. C'est également un premier pas vers la **spécialisation des membres du consortium** sur des sujets spécifiques. Une **base de données européenne** est en cours d'élaboration afin de permettre l'échange de données filtrées de manière automatique entre les centres d'opérations. Le nombre de satellites couverts par les services est en nette augmentation depuis quelques mois. Le consortium protège actuellement 119 satellites de l'Union européenne et de ses États membres des risques de collision (56 en orbite géostationnaire, 33 en orbite basse et 30 en orbite moyenne) au bénéfice d'une diversité d'utilisateurs civils, militaires et commerciaux.

Le CNES contribue aux travaux du consortium SST par le biais de son centre d'orbitographie opérationnelle de Toulouse, qui fournit des alertes sur les collisions en s'appuyant notamment sur l'observation optique des orbites hautes avec le réseau de télescopes TAROT. Surveiller l'environnement spatial étant aussi un enjeu de sécurité nationale, le CNES travaille **en liaison constante avec le ministère des Armées** qui lui fournit des données issues du radar militaire GRAVES qui détecte et classe les objets en orbite basse. Ce moyen est un **atout majeur de la France** au sein du consortium.

• L'initiative EU-SST reste néanmoins critiquée en Europe. Par le passé, ses détracteurs se sont **interrogés sur la qualité des services fournis** ainsi que sur la gouvernance, tandis que son efficacité **budgétaire** fait toujours l'objet de critiques. Le consortium doit faire la démonstration dans les deux ans d'une efficacité technique et opérationnelle (en particulier en accélérant les échanges de données) et, surtout, d'une efficacité économique (sortant du principe du partage à parts quasi-égales du budget).

S'agissant des aspects financiers, la décision adoptée par le Conseil et le Parlement européens en 2014 prévoyait un financement du consortium à hauteur de 70 millions d'euros pour la période 2014-2020. Un financement supplémentaire de 97 millions d'euros a été accordé au titre du programme de recherche « Horizon 2020 », portant le financement total du projet à 167 millions d'euros sur la même période.

• **Le retour financier de la France sur ce projet est significatif.** En effet, le CNES et le ministère des Armées ont su tirer profit de la sous-consommation des crédits de la part d'autres partenaires du consortium et ont pu récupérer en moyenne **30 % des budgets alloués** aux activités de surveillance de l'espace. Sur les premiers 18 mois d'activité du consortium, un montant de 7 millions d'euros a ainsi été versé à la France. La sous-consommation de ses partenaires devrait à nouveau lui profiter dans la période couverte par le budget actuellement en cours. Entre 2016 et 2019, le ministère des Armées a récupéré en moyenne deux millions d'euros par an, montant sensé **couvrir en partie le maintien en condition opérationnelle du radar GRAVES et l'amélioration de ses performances**. Sur les prochaines tranches budgétaires, le retour annuel pour la défense pourrait, en fonction du résultat des négociations, être porté à trois voire quatre millions d'euros.

La Commission européenne a en outre publié le 6 juin 2018 un projet de règlement en matière de politique spatiale consistant à rassembler en un texte unique l'ensemble des programmes spatiaux européens. Le document évoque un budget de 16 milliards d'euros les années 2021 à 2027 au profit des activités spatiales de l'Union, dont 250 millions d'euros seulement reviendraient à la surveillance de l'espace, à la météorologie de l'espace et aux géocroiseurs.

M. Jean-Yves Le Gall a souligné **l'intérêt d'une coopération franco-allemande** dans le domaine de la surveillance de l'espace en Europe et la volonté de « *conserver un leadership franco-allemand sur l'orbite basse en Europe* ». Les liens entre les ministères et les agences spatiales permettent de partager une vision commune pour la surveillance européenne de l'espace. La France et l'Allemagne considèrent qu'il existe une base solide pour une offre franco-allemande, fondée sur la complémentarité entre un radar français de surveillance, successeur de GRAVES, fonctionnant dans les bandes UHF/VHF, et un réseau de radars allemands fonctionnant en bande L (les radars GESTRA), répartis sur plusieurs territoires dans le monde. Selon le président du CNES, cette offre permettrait de cataloguer sur une base journalière les **deux-tiers des objets en orbite d'une taille supérieure à dix centimètres**, d'accéder à un haut niveau de précision et de réactivité et à une couverture mondiale, tout en étant plus économique que les offres concurrentes en Europe, comme par exemple une offre espagnole pour un radar unique de surveillance en bande L déployé en Espagne. Bien entendu, un tel développement serait à prendre en compte dans la stratégie française, y compris pour définir quel degré de capacités d'appréciation souveraine conserver.

- *La question d'une préférence européenne*

La question de l'utilité, de l'opportunité et de la possibilité d'instituer, pour les technologies spatiales, une règle de préférence européenne a régulièrement été évoquée au cours des travaux de la mission d'information.

Or certains observateurs avertis relèvent **des entorses à la « préférence européenne »**, pourtant indispensable à l'équilibre économique des programmes de lanceurs européens. En effet, alors que les États étaient convenus en 2014 d'assurer cinq lancements institutionnels par an à Ariane 6 et que la DGA a « joué le jeu » dans l'allocation des marchés de lancement des satellites institutionnels français, **l'Allemagne**, par exemple, a préféré mettre en concurrence Ariane 6 et le Falcon de Space X pour le lancement du satellite Georg d'observation destiné à ses services de renseignement.

Aussi certains acteurs plaident-ils en faveur de l'établissement d'une règle réservant les lancements institutionnels européens aux lanceurs européens. M. Joël Barre s'est lui-même déclaré en faveur d'« **un Buy European Act pour les lanceurs**, à l'image des Américains et leur Buy American Act », suivant en cela une préconisation défendue avec vigueur par M. Alain Charmeau, alors président-directeur général d'Ariane Group. Celui-ci a fait valoir en effet que si le secteur spatial est concurrentiel, il n'obéit pas aux seules règles du marché au sens classique du terme. Il reste en effet placé hors du champ d'application des règles de l'Organisation mondiale du commerce et « *fait toujours l'objet d'arbitrages intégrant des conditions non financières* » ; bref, « *il s'agit de souveraineté* ». D'ailleurs, a-t-il fait valoir, pour les programmes spatiaux comme pour ses initiatives en matière de défense, la Commission elle-même trouve les moyens juridiques d'imposer des conditions particulières et propose aux États membres,

dans son prochain cadre budgétaire, une disposition juridique qui impose des lancements sur des lanceurs opérés depuis l'Europe pour les programmes de l'Union européenne, tels Galileo et Copernicus.

M. Nicolas Chamussy a cependant averti qu'un système de préférence européenne en matière de lanceurs serait certainement **bon, mais pas suffisant pour assurer la viabilité d'Ariane 6**, car les lancements institutionnels ne dépassent pas cinq ou six opérations par an en Europe, contre trente au moins en Chine.

De plus, M. Jean-Yves Le Gall a indiqué que les quelques exceptions aux engagements souscrits par les États sont rares, limités à un ou deux cas allemands qui s'expliquent d'ailleurs par l'absence d'offre adaptée de la part de l'Agence spatiale européenne au moment de la passation des contrats concernés. D'après lui, en réalité, la quasi-totalité des lancements institutionnels européens se fait bien sur des lanceurs européens. Il ne faudrait pas, en outre, qu'un principe de préférence européenne soit compris comme contraignant les acteurs institutionnels à prendre des engagements fermes sur un nombre de lancements pour une période de dix ou quinze ans ; pour M. Jean-Yves Le Gall, un tel engagement contractuel est en effet « *difficilement imaginable* ». **La dernière conférence ministérielle de l'ESA a déjà confirmé l'engagement des Européens à recourir à des lanceurs Vega ou Ariane pour les lancements institutionnels** – ce que M. Jean-Yves Le Gall décrit comme « *une avancée remarquable à mettre au crédit de la France et du CNES* » ; pour les rapporteurs, il n'est pas injustifié de considérer que vouloir d'eux, de surcroît, qu'ils passent d'ores et déjà les contrats afférents serait en revanche une exigence excessive. M. Jean-Yves Le Gall a précisé que cet engagement des Européens était toutefois pris **dans un contexte d'écart de coût de 25 % à 30 % entre Ariane et Space X**, mais que si cet écart venait à se creuser, une remise en question par certains acteurs serait difficilement évitable.

Après avoir entendu l'ensemble des arguments, **les rapporteurs considèrent qu'une règle ferme de préférence européenne est souhaitable**. En effet, on pourrait imaginer s'en passer si les autres puissances spatiales n'avaient pas elles-mêmes des pratiques délibérément protectionnistes en la matière. En outre, que les États européens et la Commission assument le coût de l'autonomie d'accès à l'espace *via* un surcoût de prix de lancement ou *via* un déficit d'Ariane Group, toutes choses égales par ailleurs, n'est pas déterminant dans les équilibres financiers globaux du secteur spatial.

Mais en aucun cas une règle de préférence européenne ne saurait être vue comme exonérant les opérateurs européens du lancement spatial des efforts de réduction des coûts qui leur sont demandés.

- *La gouvernance européenne du secteur spatial*

Certaines insuffisances dans la gouvernance européenne du secteur spatial ont été signalées aux rapporteurs :

– M. Alain Charneau a relevé le **haut degré d'éclatement des responsabilités en matière spatiales en Europe**. En effet, si les propositions budgétaires de la Commission européenne sont acceptées, celle-ci disposera d'un budget spatial supérieur à celui de l'Agence spatiale européenne elle-même, tandis qu'une part substantielle des crédits de la politique spatiale demeure nationale ;

– pour Ariane Group, **les règles de « retour géographique »** font structurellement peser de fortes contraintes aux industriels européens, qui doivent redoubler d'efforts de compétitivité face à des concurrents qui sont plus libres qu'eux d'optimiser leur outil industriel – par exemple d'intégrer leurs fusées sur un lieu de production unique. Or, comme l'a fait valoir M. Alain Charneau, « *le saupoudrage économique est profondément inefficace* » ;

– au sein de l'Agence spatiale européenne, **les décisions se prennent à l'unanimité**. Par nature, une telle règle est mieux adaptée à des projets non urgents et sans grande asperité stratégique, tels que les programmes de recherche et d'exploration, plutôt qu'aux marchés commerciaux ;

– M. Jean-Yves Le Gall a aussi regretté que, « *perdu dans le pilier "compétitivité", puis sous le cluster "Information and Communication Technologies"* », le budget européen de R&T consacré à l'espace occupe « **une place secondaire** » dans la programmation budgétaire et que, de plus, il soit **mal articulé avec les efforts engagés dans le même domaine via l'Agence spatiale européenne** ;

– il a aussi signalé que l'efficacité des politiques industrielles européennes de soutien à la R&D visant des marchés ouverts à la concurrence est **mise à mal par la multiplication de filiales européennes d'acteurs étrangers qui captent une partie des aides au développement**. Il s'agit d'abord d'acteurs américains, comme par exemple Tivak, Viasat ou Planetary ressources, puis chinois, comme Spaceview, et japonais, comme Ispace.

Il ne faut cependant pas sous-estimer les difficultés qu'aurait à franchir la France pour relancer la coopération européenne, pour deux raisons au moins :

– comme l'a dit M. Bruno Sainjon, l'expérience montre que « *mettre d'accord les Européens n'est pas une affaire simple* ». La genèse de Galileo le montre : le Parlement britannique y était très hostile, en raison de l'apparente gratuité du GPS ; on a donc entamé des négociations de partage des fréquences avec les Américains alors que les Européens, tout en étant dans leur bon droit, préféreraient éviter de se confronter à Washington ;

– si, dans le passé, les Français étaient particulièrement bien placés dans les institutions européennes, pour le président-directeur général de l'ONERA, ils n'ont pas renouvelé les moyens de leur influence en la matière et les ont perdus, notamment au profit des Italiens en matière de lanceurs et des Allemands en matière d'objets spatiaux. Ainsi, la France a clairement « **perdu du poids dans les mécanismes européens** », ne serait-ce que du fait de la dette de la France envers

l'Agence spatiale européenne, qui s'élève à quelques centaines de millions d'euros. Pour M. Bruno Sainjon, « *c'est un fâcheux facteur de perte d'influence* ». Le CNES a cependant obtenu du Gouvernement que ses budgets pour 2018, 2019 et 2020 permettent le remboursement de cette dette. La voix de la France pourra ainsi retrouver toute sa portée au niveau européen. En contrepartie, dans la gestion de ses crédits, le CNES s'est engagé à poursuivre son effort d'économies sur ses frais de structures et à renforcer la sélectivité de ses programmes dans le but de préserver sa politique d'innovation et de R&T.

***b. Coopérer avec les États-Unis, pourvu que ce ne soit pas en position de dépendance, offrir des possibilités opérationnelles intéressantes***

***i. Les bénéfices mutuels d'une coopération opérationnelle étroite avec les États-Unis***

Ainsi qu'on l'a dit, la France dépend d'ores et déjà de certains moyens spatiaux américains, par exemple en matière de surveillance de l'espace. De façon réciproque, les rapporteurs ont pu constater que **les Américains sont demandeurs de coopération** dans la mise en œuvre de leur future stratégie de défense spatiale.

**La coopération avec leurs alliés semble en effet devoir occuper une place importante dans le volet de cette stratégie relatif à la résilience** des moyens spatiaux. En effet, selon les explications fournies au *Department of Defense* par M. John Hill, cette stratégie érigera en priorité l'amélioration de la résilience des capacités spatiales et mettra pour ce faire, outre sur la diversification des moyens spatiaux, sur la coopération avec les alliés.

Arguant du fait que, contrairement aux « *cultures bureaucratiques traditionnelles* », il est des domaines où « *c'est en partageant sa souveraineté que l'on la renforce* » M. John Hill a souligné que la possibilité de coopérer avec des alliés constituait un avantage de l'Occident : « *ni la Russie, ni la Chine, n'ont vraiment d'amis...* »

***ii. Un intérêt particulier des Américains pour la coopération franco-américaine***

Les rapporteurs soulignent que la France a des atouts sérieux à faire valoir pour coopérer de façon relativement équilibrée – certes pas sur un pied d'égalité absolue à tous les égards compte tenu de l'asymétrie des moyens, mais pas non plus dans une position de vassalité. Ces atouts sont à la fois de nature politique et de nature opérationnelle.

● *Des atouts de nature politique*

M. John Hill a souligné tout l'intérêt qu'a trouvé le *Department of Defense* à la révélation par la ministre française des Armées des manœuvres inamicales du satellite russe Luch-Olymp autour du satellite franco-italien Athena-Fidus.

Outre que ce discours comprenait « *beaucoup d'informations que le Department of Defense n'aurait pas eu le droit de rendre publiques* », il a expliqué que les États-Unis ne pouvaient trouver qu'avantage et satisfaction à ce que **le danger russe – dénoncé régulièrement – soit attesté par un allié connu, d'une part, pour disposer de capacités autonomes de surveillance de l'espace et, d'autre part, pour n'être pas aligné systématiquement** sur eux – M. John Hill reconnaissant que la crédibilité des Américains était amoindrie depuis les informations erronées présentées pour justifier l'invasion de l'Irak en 2003.

Dans un milieu où l'attribution des dommages à un agresseur constitue une opération complexe, et où nombre d'États ne peuvent que s'en remettre sans possibilité de contre-expertise aux informations que leur fournissent trois ou quatre puissances, la France tire ainsi de son système de surveillance de l'espace une crédibilité qui constitue un atout de nature à compenser l'asymétrie de ses moyens par rapport à ceux des États-Unis.

- *Des atouts de nature opérationnelle*

M. John Hill a également expliqué qu'en matière spatiale, **les cadres de coopération habituels ne sont pas nécessairement les plus pertinents**. Notamment, le « club » des « *five-eyes* » – États-Unis, Royaume-Uni, Australie, Nouvelle-Zélande et Canada –, qui constitue le cadre de référence des Américains pour le partage de renseignements, n'est pas le plus approprié à la coopération spatiale dans la mesure où « *le Royaume-Uni, l'Australie, la Nouvelle-Zélande et le Canada n'ont pas des capacités spatiales considérables* ». Cela explique le fait que les États-Unis tiennent à associer la France et l'Allemagne, rejointes bientôt par la Corée du Sud, à leurs cadres de coopération en matière spatiale. Ils ont d'ores et déjà élargi la participation à leurs exercices spatiaux – les *Schriever Wargames* – au-delà du périmètre des « *five-eyes* », en l'ouvrant à la France et à l'Allemagne, et bientôt à la Corée du Sud.

Par ailleurs, la France a l'avantage de comporter **des territoires d'outre-mer répartis sur l'ensemble du globe terrestre**, y compris dans des zones d'intérêt pour les États-Unis où ceux-ci ne disposent pas de territoires où implanter différents moyens de détection. Par exemple, La Réunion et Tahiti bénéficient d'emplacements particulièrement intéressants pour observer certaines orbites.

iii. La coopération n'exclut pas la vigilance

Les rapporteurs reconnaissent l'intérêt d'une coopération étroite avec les Américains en matière de défense spatiale, tout en soulignant que ce n'est pas benoîtement qu'il convient de se lancer dans de telles coopérations.

En effet, il ne faudrait pas attendre de telles coopérations qu'elles prémunissent les alliés des États-Unis contre des actions autonomes des Américains, à l'image des « **black operations** » qu'ils pratiquent seuls au sein

même des coalitions dans lesquelles ils sont engagés dans les opérations « classiques ». De surcroît, intensifier notre coopération spatiale par des manœuvres communes ou des échanges d'informations ne nécessite nullement de relâcher l'attention avec laquelle les moyens français de surveillance de l'espace suivent les objets spatiaux américains ne figurant pas dans le catalogue publié par les États-Unis, ou les points d'intérêts des Américains.

*c. Coopérer aussi avec nos compétiteurs stratégiques*

- i. Le secteur spatial constitue un des derniers « canaux » de coopération majeure des Occidentaux avec la Russie

M. Jean-Jacques Dordain a expliqué avoir contribué, dans les années 1990, aux efforts d'intensification de la coopération entre la Russie et les Occidentaux – Européens et Américains –, notamment dans le cadre du projet de station spatiale internationale. La coopération spatiale était vue dans les années 1990 comme un champ dans lequel les Occidentaux pouvaient nouer des liens la Russie dans une position de relatif équilibre. M. Alain Charneau a d'ailleurs fait valoir la portée des partenariats existants et qu'il faut prolonger : « *Soyouz à Kourou, y compris pour lancer le premier satellite CSO, ce n'est pas rien* ».

De plus, de façon très dérogatoire aux règles et aux pratiques de « retour industriel », l'Agence spatiale européenne a investi 120 millions d'euros en Russie afin de maintenir les capacités de ce partenaire, qui risquaient à défaut d'être exportées à des puissances moins sûres.

L'URSS dépensait 6 % de son PNB dans l'espace, contre 1 % pour les États-Unis au plus fort de l'effort lié au programme Apollo, mais selon M. Jean-Jacques Dordain, « *une partie de cet héritage a disparu* ». Au-delà de la nostalgie que cultive aujourd'hui le Kremlin, « *le décrochage russe est net* », au point que « *la Russie, en réalité, n'est plus un des deux leaders dans l'espace* ». M. Alain Charneau a de surcroît jugé « *très improbable* » la construction de nouveaux partenariats avec les Russes « *dans le contexte politique actuel* ».

Quelle que soit la situation de l'industrie spatiale russe, **aux yeux des rapporteurs, l'importance qu'il y a à conserver des voies de dialogue et de coopération avec la Russie justifie de poursuivre avec elle des programmes de coopération en matière spatiale**. Précisément parce qu'elle possède un héritage technologique qu'elle doit défendre contre une tendance au déclin, la Russie elle-même peut y trouver prestige et intérêt. Après l'arrêt de la production des lanceurs Soyouz, au début des années 2020, il conviendra de trouver de nouveaux champs de coopération.

- ii. Coopérer avec la Chine

La Chine a largement dépassé la Russie parmi les grandes puissances spatiales, à la faveur de son émergence économique ; elle constitue aujourd'hui le



plus grand marché, la plus grande réserve de capitaux et la plus grande source de technologies du monde.

Cela **devrait plaider en faveur de coopérations** ; après tout, même si la Chine est vue par les Occidentaux – particulièrement les États-Unis – comme un adversaire – au moins potentiel –, **les Américains ont bien coopéré avec les Soviétiques dans les années 1970**. Certains sujets d'intérêt communs, comme par exemple l'élimination des débris en orbite, pourraient constituer des champs de coopération mutuellement bénéfique.

Pour les rapporteurs, il convient cependant de **demeurer extrêmement vigilant** dans le choix des coopérations à nouer avec des pays sensibles tels que la Chine. De tels pays, au travers de partenariats affichés comme scientifiques, peuvent chercher à nourrir des ambitions de développement technologique, par des transferts indus de technologies et de savoir-faire.

#### *d. Des questions de sécurité pouvant être traitées de façon coopérative*

Avec le nombre croissant d'États et d'acteurs privés qui opèrent des satellites, avec les progrès faits dans les capacités de manœuvre de ceux-ci et avec les risques de collisions qui s'accroissent en conséquence, la question d'instituer des règles de gestion du trafic spatial vient à se poser.

Ainsi, la **notion de gestion du trafic spatial** (*Space Traffic Management* ou STM en anglais) apparaît de plus en plus dans les réflexions menées autour des opérations en orbites. Plusieurs études conduites par des industriels ou des universitaires ont tenté de décrire ce que pourrait être la gestion du trafic spatial sur le modèle du contrôle et de la gestion du trafic aérien civil.

M. Jean-Yves Le Gall a précisé qu'**au niveau des États, il n'y a en revanche pas d'appétence pour un régime juridiquement contraignant** pour gérer les opérations dans l'espace. La mise en place d'un organisme international à l'instar de l'Organisation de l'OACI n'est « *absolument pas à l'ordre du jour* » et les divergences observées entre les États dans les discussions du groupe de travail des Nations unies sur la viabilité à long terme des activités spatiales ou l'échec du projet de code de conduite international de l'Union européenne « *ne laissent pas entrevoir d'évolution dans ce sens* ».

Aujourd'hui, **seuls les États-Unis, qui opèrent près de 800 satellites sur les 1 500 en orbite, ont adopté une politique en matière de STM**. Elle prévoit une articulation entre le ministère du Commerce – récemment investi d'une mission d'interface civile pour l'échange de données en matière de surveillance de l'espace et de services de STM –, le *Department of Defense* – garant de la sécurité nationale et chargé de tenir à jour le catalogue des objets spatiaux –, et les autres administrations, « *qui créent des opportunités pour que les acteurs commerciaux américains puissent fournir des données SSA et des services STM* ». Les États--Unis **désirent garder leur liberté d'action dans l'espace et considèrent à**

**ce titre qu'un régime international juridiquement contraignant en matière de STM n'est ni faisable, ni souhaitable.**

À l'occasion de discussions bilatérales et de divers forums multilatéraux comme l'IADC (*Inter-Agency Space Debris Coordination Committee*) ou le comité des Nations unies sur les usages pacifiques de l'espace, Washington soutient en conséquence l'idée d'une approche non-contraignante et encourage l'adoption de **normes comportementales et de bonnes pratiques** pour les opérations spatiales.

M. Jean-Yves Le Gall a plaidé en faveur d'une analyse soignée de la politique américaine et d'une approche « *pragmatique et collaborative* » en la matière, en vue d'entamer des discussions avec les États-Unis sur ce sujet. Bien entendu, **pour cette question qui concerne un très grand nombre d'États, une approche internationale au sein d'un forum inclusif comme les Nations unies s'impose.**

## **II. ÉLÉMENTS DE RÉFLEXION POUR UNE NOUVELLE STRATÉGIE DE DÉFENSE SPATIALE**

Les rapporteurs, au terme de leur mission, formulent plusieurs catégories de recommandations en vue de contribuer à l'élaboration d'une stratégie française de défense spatiale.

### **A. POUR UNE STRATÉGIE DE DÉFENSE SPATIALE AMBITIEUSE, COMPLÈTE ET CRÉDIBLE**

Les rapporteurs considèrent que l'heure ne peut plus être aux faux-semblants en matière de défense spatiale : penser que l'espace peut encore demeurer un lieu d'usages exclusivement pacifiques relève à leurs yeux de l'illusion. Or, sur le plan stratégique, les illusions se paient cher. C'est pourquoi il serait bon que les armées conduisent des travaux sur le concept de « défense spatiale » vue comme une activité militaire à part entière – à l'instar, par exemple, de la défense aérienne. Pour les rapporteurs, un tel système de défense spatiale devrait reposer sur une posture de sûreté spatiale et sur une doctrine de défense des intérêts de la France dans l'espace exo-atmosphérique.

#### **1. Instituer une mission de « défense spatiale » à part entière**

**Les rapporteurs considèrent que la défense spatiale mérite d'être érigée en mission à part entière, assignée aux armées en raison du caractère militaire des opérations de défense spatiale.**

##### *a. Distinguer clairement défense spatiale et défense aérienne*

Aujourd'hui, la surveillance de l'espace, la fourniture aux autorités des éléments de la situation spatiale leur permettant de prendre les décisions qui leur

incomber, ainsi que la diffusion de l'alerte aux populations en cas de danger spatial relèvent de la défense aérienne au sens de l'article D. 1441-1 du code de la défense, reproduit ci-après.

#### ARTICLE D. 1441-1 DU CODE DE LA DÉFENSE

Dans le cadre de la politique générale de défense définie par le Premier ministre, la défense aérienne concourt, en liaison avec la défense civile et avec les autres formes militaires de la défense, à la sécurité du territoire, notamment à la protection des installations prioritaires de défense.

La défense aérienne est permanente ; elle a pour objet :

1° de surveiller l'espace, les approches aériennes du territoire et l'espace aérien national, de déceler et d'évaluer la menace ;

2° de fournir aux autorités gouvernementales et au commandement militaire les éléments de la situation spatiale et aérienne leur permettant de prendre les décisions qui leur incombent ;

3° de faire respecter en tout temps la souveraineté nationale dans l'espace aérien français ;

4° de s'opposer à l'utilisation de l'espace aérien national par un agresseur éventuel ;

5° de concourir à la diffusion de l'alerte aux populations en cas de danger spatial ou aérien inopiné.

#### *b. Assigner aux armées la responsabilité principale de la mission de défense spatiale*

Les compétences requises pour les opérations de défense spatiale présentent en effet un caractère clairement militaire et, ce, dans la plupart des phases desdites opérations :

– d'abord, la **détection** des dangers, tels des risques de collision ou des manœuvres et autres activités suspectes ou douteuses, repose sur les moyens de surveillance opérés par le COSMOS, notamment le système GRAVES pour les orbites basses ;

– ensuite, la **caractérisation** des menaces entre également dans les compétences du COSMOS. Il s'agit, par exemple, d'éviter d'être leurré par les changements d'orbite d'un engin très manœuvrant qui serait remplacé par un autre satellite dans la même orbite entre deux observations par le système GRAVES. Aujourd'hui, le COSMOS conduit ses travaux de caractérisation au moyen de techniques de corrélation, mais a pour ambition de développer d'autres techniques d'analyse ;

– puis l'**évaluation** des dangers, ce qui suppose de connaître la capacité de nuisance des engins repérés dans le champ des intérêts spatiaux français, comme le fait le COSMOS ;

– enfin, l'**action**, c'est-à-dire la réponse décidée par l'autorité compétente, ne relève du CNES pour le pilotage des satellites que lorsque l'autorité a choisi de

répondre à une action adverse dans l'espace par une action dans l'espace, ce qui n'a pas à être systématique. En outre, les opérateurs du COSMOS ont démontré leur capacité à rédiger des ordres de prise de vue relatifs à l'orientation des charges utiles des satellites militaires.

Quant à la **décision**, elle ne peut certes relever que d'une autorité interministérielle, mais elle se fonde sur des éléments de situation spatiale établis par l'autorité militaire.

Dans la « boucle OODA », il conviendrait dès lors de distinguer :

– le « **niveau de décision** », c'est-à-dire l'autorité investie du pouvoir d'ordonner une action au vu du dossier d'instruction qui lui est soumis. Le choix d'une telle autorité dépend de sa « **légitimité** ». Ainsi, pour la défense aérienne, en cas de très grave danger, il s'agit du Premier ministre lui-même. Le commandement du COSMOS a fait valoir que la disponibilité de la personne investie de ce pouvoir de décision doit être prise en compte dans sa désignation ; c'est à ce titre qu'il plaide en faveur de **mécanismes de subsidiarité**, permettant au Premier ministre de déléguer son pouvoir de décision à d'autres personnes d'un moindre rang dans l'État mais d'une plus grande disponibilité pour prendre les décisions requises dans les cas de menaces les moins graves, à l'instar de la « haute autorité de défense aérienne ». En tout état de cause, la légitimité de l'autorité en question doit procéder du **caractère interministériel** de ses fonctions ;

– le « **niveau d'appréciation** », c'est-à-dire l'organe chargé de détecter une menace, de prendre des mesures conservatoires et de soumettre à l'autorité de décision des propositions de mesures à prendre. Par analogie avec le système de défense aérienne, il pourrait s'agir d'un équivalent pour l'espace du commandement de la défense aérienne et des opérations aériennes (CDAOA) de l'armée de l'air.

## **2. Établir une doctrine ambitieuse de défense des intérêts français dans l'espace exo-atmosphérique**

Les rapporteurs plaident en faveur de la publication d'une doctrine de défense spatiale réaliste, c'est-à-dire tenant compte des risques et des menaces dans l'espace ainsi que de la vulnérabilité des moyens spatiaux dont ses adversaires potentiels sont, comme elle, de plus en plus dépendants.

### ***a. Se donner la possibilité de répondre à toute action affectant nos moyens spatiaux***

Pour les rapporteurs, une doctrine de défense spatiale réaliste doit avoir pour base l'affirmation de principe suivant laquelle la France prend acte des évolutions du contexte stratégique dans l'espace et se réserve la possibilité de répondre à toute action contre ses propres moyens spatiaux, militaires ou civils.

- *Des moyens défensifs en orbite*

Cette possibilité passe d'abord par des **moyens de protection des satellites français et des flux de données** qu'ils transmettent. Plusieurs moyens sont envisageables à ce titre, parmi lesquels on citera par exemple :

- l'interruption de service en cas d'approche d'un engin caractérisé comme susceptible d'espionnage, c'est-à-dire un satellite « butineur » comme Luch-Olymp ;

- des manœuvres d'évitement, ce qui suppose d'accroître progressivement les capacités de manœuvre de nos satellites, notamment militaires ;

- des moyens de détection des approches, soit sous forme d'équipement placés sur les satellites, soit sous forme de petits satellites placés en « chien de garde » autour de nos satellites principaux ;

- des moyens de blindage des équipements et de cryptographie des transmissions.

- *Des moyens contre-offensifs en orbite ou dans d'autres milieux*

À l'instar de ce qui semble se dégager des réflexions stratégiques en cours aux États-Unis, il paraît judicieux aux rapporteurs **que la doctrine française de défense spatiale ne prévoie pas de répondre systématiquement à une action hostile dans l'espace par une réponse contre-offensive qui soit systématiquement apportée dans l'espace également**. En effet, tout agresseur potentiel possède nécessairement des intérêts dans d'autres milieux que l'espace. Dès lors, la réponse à une action hostile visant nos intérêts spatiaux peut être tout aussi efficace si elle frappe les intérêts de l'agresseur sur Terre que si elle vise ses intérêts spatiaux.

À ce titre, toute forme de réponse peut être apportée à l'auteur d'une manœuvre hostile, à commencer par une initiative dans le champ diplomatique. C'est d'ailleurs ainsi qu'il faut peut-être voir la révélation des manœuvres de Luch-Olymp par la ministre des Armées le 7 Septembre 2018. D'après les relevés d'activités des satellites russes caractérisés comme « butineurs », cette réponse a porté ses fruits ; en effet, les satellites en question se seraient portés depuis lors sur d'autres cibles que les engins français.

**Faut-il en revanche s'interdire tout moyen militaire d'action dans l'espace ? Pour les rapporteurs, il serait au contraire imprudent pour la France de se priver de cette option dans le dialogue de compétition stratégique**. Cependant, compte tenu des risques de dommages indiscriminés, y compris collatéraux, qui s'attachent aux débris spatiaux, les moyens de destruction des satellites ne sauraient être conçus, dans une stratégie responsable de défense spatiale, que comme un ultime recours. Une telle stratégie devrait miser bien davantage sur **une gradation de moyens « non-cinétiques » de réponse dans**

**l'espace, temporaires ou non et réversibles ou non**, tels que par exemple le brouillage des transmissions – ascendantes, descendantes ou entre satellites –, le *spoofing*, ou encore la neutralisation d'équipements par des armes à énergie dirigée – laser ou micro-ondes.

D'ailleurs, affirmer que la France se ménage la possibilité d'engager des actions contre-offensives dans l'espace peut avoir un **effet dissuasif** non négligeable.

### ***b. Un enjeu de politique déclaratoire***

Ayant à l'esprit la célèbre maxime du cardinal de Retz : « *on ne sort de l'ambiguïté qu'à ses dépens* », les rapporteurs estiment qu'il serait maladroit de rendre publique une sorte de table de correspondance indiquant, pour chaque catégorie d'auteurs d'actions hostiles, pour chaque type de moyens français visés et pour chaque sorte d'action hostile qui serait exercée, quelle réponse précise la France pourrait mettre en œuvre.

Là encore, une certaine incertitude chez l'adversaire potentiel peut avoir un intéressant effet dissuasif.

## **B. POUR UNE PROGRAMMATION D'INVESTISSEMENTS CAPACITAIRES**

La loi de programmation militaire pour les années 2019 à 2025, on l'a dit, pourvoit au renouvellement des capacités spatiales existantes et doit être vue à ce titre comme organisant un socle minimal de capacités. Mais, **si la nouvelle doctrine de défense spatiale s'avère plus ambitieuse que les missions jusqu'à présent assignées aux armées et au CNES en la matière – ce que justifie l'évolution du contexte stratégique –, alors faudrait-il aller étoffer cette programmation capacitaire**. À ceux qui objecteraient qu'il s'agirait là de dépenses supplémentaires non programmées, donc irréalistes, les rapporteurs feraient trois objections :

– si **l'actualisation de la programmation militaire prévue en 2021** par la loi elle-même ne sert pas à rectifier les dispositions initiales, parfois à la hausse comme en 2015, quel est son intérêt ?

– il serait très préjudiciable pour la crédibilité de notre stratégie de défense spatiale que nous n'en ayons manifestement pas les moyens financiers. Dans les enjeux de politique déclaratoire, « faire et dire » ou « faire mais ne pas dire » sont deux options envisageables ; « **dire et ne pas faire** » **ne saurait constituer une option stratégique viable** ;

– en réalité, comparées à d'autres programmes d'armement, **les capacités spatiales sont relativement peu coûteuses** au regard de leur intérêt opérationnel. À titre d'exemple, le système GRAVES, si utile, a été développé pour une trentaine de millions d'euros et son coût de possession complet, maintenance et

personnels compris, n'aura pas dépassé 300 millions d'euros en vingt ans, c'est-à-dire 15 millions d'euros par an. Et encore, une part des coûts a pu être prise en charge par les Européens. De même, un télescope de suivi d'objets spatiaux en orbite géostationnaire ne coûte pas plus de 300 000 euros. Ainsi, dans une programmation militaire ambitieuse du point de vue budgétaire, où les programmes sont généralement évalués en milliards d'euros ou à la centaine de millions d'euros près, un investissement dans des capacités spatiales cruciales ne constituerait pas un bouleversement majeur des équilibres financiers.

### **1. Une priorité : investir dans le renouvellement de nos capacités de surveillance de l'espace**

Comme le dit la Revue stratégique, le milieu cybernétique et l'espace exo-atmosphérique ont ceci de commun qu'en leur sein, « *la caractérisation et l'attribution des attaques au cœur de notre besoin d'appréciation autonome, alors qu'ils se prêtent particulièrement à la clandestinité et à la manipulation* ».

En effet, sans capacité de caractérisation et d'attribution à un auteur d'une action spatiale hostile, à qui adresser une réponse, quelle qu'en soit la forme ? Surtout, pour une puissance qui, comme la France, a mis l'autonomie stratégique au pinacle de sa pensée stratégique, de telles capacités ne peuvent être qu'autonomes. En outre, le président-directeur général de l'ONERA a fait valoir qu'une puissance dépourvue de moyens de connaissance de l'espace ne pourrait guère prétendre peser dans des négociations internationales sur celui-ci.

#### ***a. Une capacité performante de surveillance de l'espace constitue le fondement de toute stratégie crédible de défense spatiale***

##### **i. Les lacunes présentes et futures de nos capacités**

- *S'agissant de la surveillance des orbites basses*

Sans revenir ici sur la situation de dépendance vis-à-vis des États-Unis en matière de surveillance de l'espace, consentie mais compensée par la possession d'un « noyau » de capacités souveraines de surveillance avec les systèmes GRAVES, TAROT et Geotracker, les lacunes des systèmes actuels sont appelées à s'aggraver sous l'effet de deux facteurs principaux :

– **l'accroissement exponentiel du nombre d'objets en orbite aura inévitablement pour effet de « saturer » nos capacités de surveillance** si elles ne changent pas de format ;

– **la tendance à la miniaturisation des objets spatiaux laisse présager que l'utilité du système GRAVES risque de décroître**. En effet, d'après les informations précises fournies au COSMOS, celui-ci ne détecte pas la totalité des satellites de type *cubesat*. Pour l'heure, 90 % des satellites d'intérêt militaire placés en orbite basse demeurent cependant aisément détectables par le système GRAVES. Mais avec la miniaturisation des satellites, ce taux ne peut que

décroître si le système n'est pas amélioré davantage que ne le permettra sa rénovation prévue par la loi de programmation militaire ;

– compte tenu des progrès technologiques dans le champ des capacités de manœuvre des satellites, il faudra compléter les modèles d'orbitographie actuels par d'autres modèles permettant de **surveiller les engins spatiaux « non-keplériens »**, c'est-à-dire très manœuvrants ou suivant des orbites « exotiques ».

De surcroît, comme l'a fait valoir M. Nicolas Chamussy, ces lacunes risquent de s'aggraver aussi avec la **progression des recherches en matière de furtivité des engins spatiaux**. Les cadres d'Airbus Défense & Space ont indiqué que certains brevets chinois, datant d'il y a près de dix ans déjà, portent sur des *designs* d'évitement des repérages radars. Il est donc vraisemblable que les technologies spatiales connaîtront une sorte de « course » entre capteurs et moyens de furtivité, comme tel est le cas dès à présent dans le secteur aéronautique.

Pour les opérateurs du COSMOS, il est donc « *urgent* » de procéder au remplacement du système GRAVES. Deux études technico-opérationnelles ont été conduites en ce sens, l'une en 2010 et l'autre en 2016.

- *S'agissant de la surveillance des orbites géostationnaires*

Les capacités utilisées pour la surveillance des orbites géostationnaires reposent sur les télescopes TAROT du CNRS situés au Chili, dans le sud de la métropole et à La Réunion, ainsi que sur l'acquisition de services auprès d'Ariane Group, qui opère son système de télescopes Geotracker, afin de compléter les capacités de l'État pour couvrir des zones supplémentaires ou pallier l'éventuelle indisponibilité des autres moyens.

Selon les informations fournies au centre d'orbitographie opérationnelle du centre spatial de Toulouse, cette capacité ne permet aujourd'hui de couvrir que **70 % de l'arc géostationnaire**, dont 30 % dans le champ de deux télescopes au moins, ceci intégrant la majorité des objets d'intérêt pour la défense, l'« arc de crises » actuel et les satellites français. Cette capacité a ainsi été organisée suivant une **logique de protection des moyens français plutôt que d'observation exhaustive des orbites géostratégiques**, dont une étude du CNES a montré qu'elle nécessiterait **deux ou trois télescopes supplémentaires**.

Il a été précisé aux rapporteurs que le coût d'un télescope entièrement équipé est assez limité : **300 000 euros** hors dépenses de personnel.

Airbus Défense & Space comme Thales Alenia Space formulent également des propositions consistant à observer les orbites géostationnaires depuis l'espace lui-même.



- ii. L'indispensable renouvellement des capacités de surveillance de l'espace peut s'articuler avec des initiatives européennes

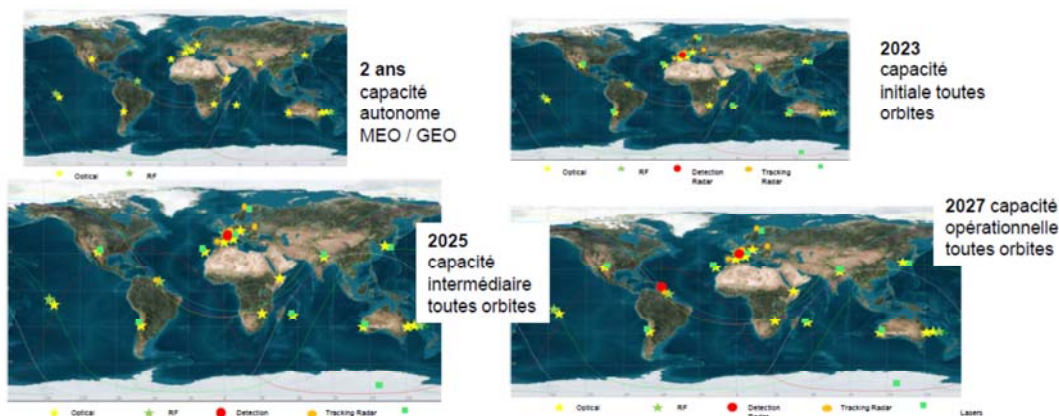
La France pourrait trouver avantage au développement d'un système européen de surveillance de l'espace, tel que la Commission prévoit d'en financer un, sans préjudice des impératifs d'autonomie stratégique, pourvu que des moyens souverains complémentaires complètent le système européen et forment ainsi le cœur d'une capacité organisée, en quelque sorte, suivant une logique de cercles concentriques.

- *La fenêtre d'opportunité pour une coopération européenne mérite d'être exploitée*

Comme l'a dit la directrice de la stratégie de la DGA, la surveillance de l'espace « est un sujet sur lequel il est politiquement correct que l'Europe ait sa propre autonomie ». D'ailleurs, si c'est pour l'heure à titre gracieux que les Américains fournissent un catalogue des objets spatiaux, rien ne garantit que l'administration américaine ne choisisse pas de le facturer un jour. Pour Mme Caroline Laurent, la prise de conscience de ce risque facilite l'émergence d'un accord sur le sujet entre les Européens.

Il serait ainsi judicieux que la France soutienne le lancement d'un programme européen de surveillance de l'espace dès 2019, financé au titre de l'*European Defence Industrial Development Programme* (EDIDP), qui préfigure le Fonds européen de défense. Selon M. Alain Charneau, un système de surveillance couvrant toutes les orbites pourrait ainsi être pleinement opérationnel dès 2027, avec une première capacité opérationnelle en 2021, comme le montre le schéma ci-après.

#### PROJET DE RÉSEAU EUROPÉEN DE SURVEILLANCE SPATIALE



Source : Ariane Group.

- *Une capacité conforme à la doctrine française supposerait de développer en parallèle un « noyau capacitairre souverain » de surveillance de l'espace*

Ainsi que l'a dit le chef d'état-major de l'armée de l'air, **la surveillance de l'espace mérite d'être partagée, mais la France doit conserver un certain niveau d'autonomie d'appréciation**. Il s'agit de pouvoir orienter des capteurs souverains en cas de doute sur l'information fournie par des moyens opérés en coopération. De même, en matière optique, il peut y avoir des zones d'opération ou d'intérêt que la France a besoin d'observer seule. En quelque sorte, dans des moyens partagés, il faut se réserver une part des capacités en propre et de façon sécurisée.

Pour les rapporteurs, une capacité mutualisée avec les Européens et conservant un « noyau » souverain permettrait de concilier les impératifs d'autonomie stratégique et de bonne gestion des deniers publics.

#### *b. Différentes solutions techniques méritent d'être étudiées*

Plusieurs solutions technologiques pour le renouvellement des capacités de surveillance de l'espace, plus ou moins innovantes, ont été présentées aux rapporteurs, qui se gardent bien entendu d'émettre un avis d'expert sur l'une ou l'autre d'entre elles. La principale différence tient à la question de savoir s'il est plus pertinent de surveiller l'espace depuis l'espace ou depuis le sol ; sauf avis technique contraire, on pourrait même imaginer combiner des équipements des deux types au sein d'une seule et même capacité.

##### i. Des technologies de surveillance de l'espace depuis l'espace ?

- *Une option évoquée par la ministre des Armées*

Dans son discours du 7 septembre 2018, la ministre des Armées a évoqué l'idée de surveiller l'espace depuis l'espace. M. Jean-Yves Le Gall a indiqué qu'en lien avec les armées et la DGA, le CNES étudie les différentes approches techniques qui peuvent ou pourraient être employées à cette fin. Si les rapporteurs ne sont pas les mieux placés pour analyser ces études techniques, une réflexion théorique sur ce sujet conduit à identifier trois options possibles :

- l'emport de **capteurs d'approche** sur les satellites ;
- la mise en orbite de **satellites « patrouilleurs »** ;
- la surveillance des approches d'un satellite par un petit satellite, une sorte de **satellite « chien de garde »**.

**L'orbite géostationnaire, où tous les satellites évoluent sur un seul plan, s'y prête nettement mieux** car un satellite peut théoriquement y « visiter » tous les autres satellites géostationnaires. En orbite basse, en revanche, le

changement de plan orbital étant très difficile – seul le X37 américain en semble capable –, cette mission nécessiterait en première approche le recours à une constellation intégrant un nombre très important de satellites de surveillance ou des satellites très manœuvrants permettant des visées entre orbites sécantes.

- *Un projet soutenu par Thales Alenia Space*

**Thales Alenia Space a investi dans le premier projet canadien d'observation de l'espace depuis l'espace, appelé *North Star*.** M. Jean-Loïc Galle a expliqué que c'est la compétitivité bien reconnue de l'industrie française, notamment en matière de constellations, qui a conduit les Canadiens à se tourner vers Thales Alenia Space.

Il s'agit d'une **initiative civile**, conçue sur le mode de la fourniture de service. L'étude de l'architecture de ce système est en cours, visant à définir tant son segment au sol que le format de la constellation de satellites nécessaire. En fonction de l'architecture retenue, le projet nécessitera entre deux et quatre milliards de dollars d'investissements. Ces fonds ne peuvent être levés qu'auprès d'investisseurs privés, ce qui implique que le projet ait des « **clients de lancement** ». Or le premier client intéressé par la surveillance de l'espace est la défense. Des discussions sont engagées par l'industriel canadien avec le *Department of Defense* américain, et les principaux autres prospects se trouvent au Japon et, parmi les Européens, en France et en Allemagne. L'intérêt des armées françaises, aux yeux de Thales Alenia Space, est **que les satellites de cette constellation soient fournis par la France**, ne serait-ce que pour exercer un certain contrôle sur ce système. **Pour ce faire, il serait proposé que le ministère des Armées entre en discussion avec la société concernée dès 2019.**

Par ailleurs, les représentants d'Airbus Defence & Space ont évoqué eux-aussi des solutions de surveillance de l'espace depuis les orbites basses consistant à équiper de composants optiques des satellites dérivés de la plateforme développée pour OneWeb.

Interrogé sur ces projets, M. Joël Barre n'en a pas réfuté le principe mais a appelé à la prudence, au même titre que pour le projet OneWeb : « *quand on voit les difficultés rencontrées sur les constellations de service de télécommunications, il faut rester prudent pour un service de surveillance de l'espace qui est moins évident* ». Il a précisé qu'au stade actuel des développements et des discussions, les tarifs annoncés sont affectés d'une incertitude « *d'un facteur 10* ».

ii. Des technologies de surveillance de l'espace depuis la Terre ?

- *Une feuille de route technologique établie par l'ONERA*

M. Bruno Sainjon a plaidé en faveur d'un **programme français de développement d'un nouveau système de surveillance de l'espace**, plus performant que le système GRAVES, qui permettrait à la France de :

– « *s'adapter à la **dynamique des nouveaux objets en orbite*** », par exemple en améliorant la réactivité de la surveillance à des satellites plus manœuvrants ;

– améliorer la détection des **satellites plus petits et plus manœuvrants**. En effet, le système GRAVES détecte les objets de 50 à 60 centimètres, car il fonctionne dans la bande VHF (30 à 300 MHz). Or, pour détecter des objets plus petits, il est indispensable d'augmenter la fréquence d'émission – c'est-à-dire de diminuer la longueur d'onde. Le successeur de GRAVES pourrait utiliser la bande UHF (300 MHz à 3GHz), voire les deux bandes précitées. Ainsi, les performances d'un tel système autoriseraient la détection systématique de nano-satellites de type *cubsat* de 10 centimètres en orbite basse ;

– **mieux cataloguer** des mesures à la fois plus nombreuses et plus variées, permettant la détection et la **caractérisation de manœuvres**, de comportements anormaux, de rapprochements ou encore de fragmentations ;

– exploiter les **données** pour comprendre les missions des objets observés.

Le système imaginé par l'ONERA reprendrait ainsi le principe qui a fait le succès de GRAVES : l'émission continue, mais avec un mode de fonctionnement qui autoriserait la localisation des antennes d'émission et de réception sur le même site. Cette configuration permettrait de réduire sensiblement le coût d'exploitation du système pour l'armée de l'air.

Dans un premier temps, l'ONERA propose la réalisation d'un démonstrateur permettant de vérifier sur un secteur angulaire de 30° la performance d'un tel système. En cas de succès, ce démonstrateur constituerait la première brique du système complet qui se constituerait par ajout de panneaux d'émission pour parvenir à une surveillance à 180 degrés. L'ONERA s'appuierait – comme il l'a fait pour GRAVES – sur des PME pour cette réalisation. M. Bruno Sainjon a précisé que **le coût total d'un tel démonstrateur s'élève à 50 millions d'euros** environ.

Il a fait valoir que compte tenu de la relative modicité des coûts d'un tel programme, il serait envisageable de **compléter le système installé en métropole par un module unique installé en Guyane**, afin d'acquérir des données sur les **satellites ayant une faible inclinaison sur l'Équateur**, comme tel est le cas de certains engins orbitaux russes. Ce faisant, une telle implantation offrirait une plus-value par rapport au système GRAVES. Elle constituerait également un élément différenciant dont tirer parti dans le cadre d'une coopération harmonieuse avec les États-Unis, car les Américains eux-mêmes, avec leurs systèmes optroniques, manquent de données relatives à ce type d'orbite.

En plus de ce radar successeur du système GRAVES, la feuille de route définie par l'ONERA comprend des études portant sur :

– **l'observation optronique des satellites géostationnaires** ;

– l’observation optronique des satellites qui occupent les **orbites intermédiaires** en particulier les **orbites de « navigation »** : GPS, Galileo, Glonass, BeiDou ;

– **l’imagerie optique haute résolution**, utilisant une optique adaptative de satellites en orbite basse ;

– l’imagerie de satellite au moyen d’un *Inverse Synthetic Aperture Radar* (ISAR), technique d’imagerie radar qui permet d’obtenir des images de haute résolution en deux dimensions.

- *Des réflexions des opérateurs du COSMOS eux-mêmes*

Le déplacement des rapporteurs à la base aérienne 942 de Mont-Verdun a permis d’étudier en détail les réflexions des opérateurs du COSMOS eux-mêmes sur le renouvellement de leur système. Ils ont présenté un projet cohérent et complet, susceptible d’être mis en œuvre progressivement, pendant une dizaine d’années s’il le faut. Ce projet, qui rejoint en de nombreux points les orientations de l’ONERA, vise à :

### **1°) Moderniser les capacités de détection et de caractérisation**

Le commandement du COSMOS propose de s’en tenir à des technologies de radars opérés depuis la Terre pour la surveillance des orbites basses. Selon le lieutenant-colonel Thierry Cattaneo, une étude de 2008 avait évalué à 500 millions d’euros l’investissement requis pour le remplacement du système GRAVES.

Les rapporteurs ont accordé une attention particulière aux questions de résilience des futures capacités de surveillance de l’espace et ont interrogé les opérateurs du COSMOS à ce sujet. Il en ressort que **seule une architecture redondante peut permettre de garantir la résilience d’une capacité de détection depuis la Terre des objets en orbite**. À cet égard, les **outre-mer** français présentent un double intérêt majeur. D’une part, du fait de leur éloignement, ils sont moins accessibles que la métropole à des adversaires qui seraient capables de détruire une installation métropolitaine et, d’autre part, certains sont proches de l’Équateur.

Aussi l’architecture de la capacité appelée à remplacer le système GRAVES pourrait-elle s’articuler de façon redondante en deux sites : **l’un en métropole**, par exemple à l’emplacement actuel des radars GRAVES, et **l’autre outre-mer**, près de l’Équateur, par exemple en Guyane.

Selon le lieutenant-colonel Thierry Cattaneo, une architecture redondante pourrait ainsi coûter **de l’ordre d’un milliard d’euros**. Compte tenu des enjeux qui s’attachent à la détection des mouvements spatiaux et à la caractérisation des objets, non seulement pour la défense aérienne mais aussi, le cas échéant, pour la défense anti-missiles, un tel investissement ne paraît pas inconsidéré ; au contraire, il pourrait être échelonné en plusieurs étapes, sur dix ans par exemple. Il

pourrait aussi constituer une contribution française à un réseau européen de surveillance de l'espace et, à ce titre, se voir financer en partie par les Européens, comme GRAVES l'est déjà.

### 2°) **Des capacités de *Command and Control* modernes et redondantes**

Les rapporteurs se sont attachés à étudier également les moyens de résilience des infrastructures de *Command and Control* qui innerveraient une capacité de défense spatiale, et dont le COSMOS représente en quelque sorte l'embryon. Là encore, la redondance paraît constituer la meilleure garantie de résilience, et les outre-mer présentent un intérêt particulier.

En effet, **implanter un « COSMOS bis » dans une région dont les périodes d'ensoleillement sont complémentaires de celles de la métropole** aurait un intérêt. À ce titre, la Nouvelle-Calédonie ou la Polynésie française possèdent d'évidents atouts. En outre, une implantation de défense spatiale dans l'océan Pacifique constituerait à coup sûr un signal d'implication de la France dans la défense de la zone indo-pacifique qui serait apprécié de nos partenaires stratégiques de référence que sont, dans la région, l'Inde et l'Australie. Dans le même temps, une telle implantation constituerait un message qui serait clairement perçu par nos adversaires potentiels dans la même zone.

### 3°) **Renforcer les moyens de surveillance des orbites géostationnaires**

Selon le lieutenant-colonel Thierry Cattaneo, le coût des services de Geotracker fournis par Ariane Group conduit à s'interroger sur l'acquisition de capacités patrimoniales en la matière.

D'ailleurs, avec le soutien de la mission « innovation participative » de la DGA, **le COSMOS a commencé à développer de nouveaux systèmes de télescopes** dans le cadre des projets suivants : Tavel, Oscegeane – pour « observation spectrale et caractérisation des satellites géostationnaire », projet qui consiste à démontrer la faisabilité d'un emploi de la spectroscopie comme outil d'identification des objets géostationnaires –, GeoPOLARSAT – un télescope équipé d'un polarimètre, qui permet de déterminer principalement la forme des objets, leur taille, en mesurant la réflexion de la lumière du soleil sur les satellites. Une capacité complète, télescopes et analyseurs compris, coûterait de l'ordre de **10 millions d'euros**, ce qui reste très limité.

### 4°) **Moderniser les moyens de caractérisation**

Selon le lieutenant-colonel Thierry Cattaneo, le remplacement des radars SATAM par un équipement que développe l'ONERA dans le cadre d'un **projet de « radar imageur de satellites »** permettrait d'améliorer considérablement les capacités de trajectographie qui constituent la base d'un système de caractérisation des objets. Ce projet vise à fournir des services d'imagerie, de surveillance des abords – contre les « compagnons indésirables » – et de trajectographie fine. L'ensemble de cette capacité coûterait 50 millions d'euros par exemplaire.

## 5°) Exploiter les outils de renseignement d'origine électromagnétique

Les techniques de renseignement d'origine électromagnétique (ROEM) permettraient d'analyser les communications reçues ou émises par les satellites. D'ailleurs, a expliqué le lieutenant-colonel Thierry Cattaneo, un tel dispositif aurait un intérêt même pour les satellites « dormants », dans la mesure où ceux-ci, pour être activés, doivent recevoir un signal, et disposent donc d'un « phare » actif. Aucun projet dans ce champ de recherches n'a encore atteint un stade de maturité réellement avancé. Mais on peut estimer le coût d'une telle capacité à quelques centaines de millions d'euros.

## 2. Une nécessité : investir dans des capacités nouvelles d'action dans l'espace, au moins à titre de démonstration

Les rapporteurs se sont attachés à passer en revue les technologies qui ont été évoquées devant eux comme utiles et prometteuses, ainsi qu'à en hiérarchiser l'importance dans la programmation capacitaire qui doit découler de la future doctrine de défense spatiale. Bien entendu, ils ne prétendent nullement pouvoir exprimer un avis technique sur telle ou telle technologie en particulier. Mais ils plaident en faveur du développement de capacités, au moins à titre de démonstrateurs. Ils se sont attachés à hiérarchiser les priorités parmi les – nombreux – projets sur lesquels leur attention a été appelée. Il en ressort que le développement de premiers moyens d'action dans l'espace mérite une attention particulière, qui ne doit cependant pas être exclusive d'un soutien à des technologies particulièrement innovantes.

### a. De premiers moyens d'action dans l'espace, par exemple par des lasers de haute intensité

Si la doctrine française de défense spatiale envisage, comme le recommandent les rapporteurs, des actions dans l'espace au moins à titre contre-offensif, il sera indispensable de doter les armées françaises des capacités nécessaires. Un tel développement relève d'un choix politique.

En tout état de cause, du point de vue militaire, le besoin opérationnel paraît attesté. En effet, présentant le retour d'expérience des *Schriever wargames* – des exercices réguliers de grande ampleur conduits par le « club des "five-eyes" » en matière de défense spatiale, auxquels la France s'est vu proposer de prendre part – le commandant interarmées de l'espace a indiqué que les scénarios de crise envisagés appellent une palette de réponses graduées selon le degré d'agression, y compris par des actions dans l'espace.

#### i. L'intérêt de moyens « non-cinétiques »

L'intérêt principal des moyens « non-cinétiques » d'action dans l'espace tient au fait qu'en neutralisant leur cible sans la détruire, il ne crée pas de débris spatiaux supplémentaires, qui aggraveraient le risque de dommages collatéraux.

Les armes à énergie dirigée – notamment les lasers – constituent l’option la plus souvent envisagée à ce titre. Les armements lasers présentent plusieurs intérêts :

– **l’intensité de l’action exercée et, partant, la gravité des dommages infligés peuvent être modulés** en faisant varier la puissance énergétique émise ;

– cette technologie pourrait être utilisée aussi **dans d’autres milieux d’opération** et à d’autres échelles ;

– elle pourrait aussi avoir un usage dual au service de la dépollution des orbites en servant à **éliminer des débris spatiaux** qui les encombrent.

L’ONERA a d’ores et déjà mené avec succès des essais « grandeur nature » relatifs à l’éblouissement temporaire des capteurs d’un satellite d’observation de la Terre. En effet, profitant de la fin de vie programmée d’un satellite SPOT, **les équipes de l’Office ont utilisé pour cela un laser ionique affectant les capteurs qui équipaient les voies « haute résolution visible » du satellite**. Ce système, qui a dû être constitué « *très rapidement* », a été réalisé à partir de composants principalement issus du commerce. Il a été implanté sur un télescope de poursuite de satellites de l’Observatoire de la Côte-d’Azur sur le plateau de Calern, près de Grasse. Cette technique permet de rendre temporairement inopérant un satellite, et l’ONERA serait en mesure mettre en place un système qui le rende fonctionnellement inopérant de façon durable, sans pour autant créer de débris. Ses lasers sont par ailleurs capables de traverser la couche nuageuse, autorisant ainsi une utilisation même par mauvais temps.

Pour autant, comme l’a fait valoir M. Nicolas Chamussy, qu’un laser éblouisse ou détruise un satellite n’est pas simple :

– **tout moyen offensif suppose une connaissance très précise non seulement des satellites en orbite, mais aussi de leur configuration**. Une cartographie en basse résolution est donc nécessaire mais non suffisante pour cela ; il faut aussi des moyens d’observation de plus haute résolution ;

– le laser doit se trouver exactement dans l’axe du capteur optique visé. Depuis la Terre, il n’y a rien d’évident mais rien d’impossible non plus à cela ; depuis l’espace, les grandes capacités de manœuvre de nos satellites pourraient être mises à profit dans cette optique.

**Le plus simple consiste cependant à opérer des lasers depuis le sol**. En effet, les autres options d’emport d’un tel laser présentent davantage de difficultés :

– embarquer un laser sur un **avion** permettrait certes de rendre l’arme moins vulnérable, car mobile, mais expose l’opérateur à des difficultés de ciblage liées à l’instabilité de la plateforme et aux masses d’air à traverser. En outre, l’acquisition et la maintenance de plateformes aéronautiques auraient un coût



d'autant plus élevé que, compte tenu des besoins d'emport de sources d'énergie, la plateforme en question serait vraisemblablement lourde ;

– emporter un laser sur un **camion** permet certes de réduire là encore la vulnérabilité du système d'arme en jouant sur sa mobilité, mais se pose le problème de l'alimentation énergétique. Certes, un *rover* sur Mars peut voir son laser alimenté par une pile nucléaire. Mais, s'agissant d'un système d'armes, l'emploi tactique d'un instrument nucléaire a un coût et présente des risques non négligeables ;

– l'emport d'un laser sur un **satellite** pose les mêmes problèmes, encore accru par le fait que les lasers peuvent pénétrer indéfiniment et, ainsi, risquer de frapper la Terre. En outre, la mise en orbite d'une pile nucléaire présente des risques, dès lors qu'en vertu de lois physiques immuables, un satellite est appelé à tomber. D'ailleurs, a fait valoir le lieutenant-colonel Thierry Cattaneo, lorsqu'un engin russe animé par une pile nucléaire s'est écrasé au Canada, il a fallu activer un protocole annexé au traité de 1967 et les Russes ont été contraints de prendre à leur charge la dépollution de 30 centimètres de terre sur une superficie correspondant aux deux tiers de la France. Aux standards européens actuels, une telle opération de dépollution aurait un coût considérable.

En outre, tant que l'on n'envisage d'agir dans l'espace qu'au moyen de lasers de haute puissance opérés depuis le sol, **les investissements à consentir peuvent demeurer modestes.**

## ii. Le cas plus discutable des moyens cinétiques

M. Bruno Sainjon a aussi expliqué que, **du point de vue technique, on peut imaginer des satellites offensifs**, par exemple pour percer un réservoir ou endommager un panneau solaire sur sa cible. Là réside d'ailleurs l'enjeu du développement de petites plateformes dotées de propulsions innovantes et d'équipements miniaturisés.

On peut aussi imaginer des missiles antisatellites. D'ailleurs, c'est par un moyen de cette nature que la Chine a détruit un satellite il y a près de dix ans déjà. Au COSMOS, le lieutenant-colonel Thierry Cattaneo a indiqué que plusieurs puissances étrangères « *soupçonnent déjà la France d'avoir développé des armes antisatellites* ». D'ailleurs, aucune difficulté technologique n'y ferait obstacle : « *les anciens missiles du plateau d'Albion rempliraient très bien cette fonction au prix de quelques modifications* », et les capacités balistiques de la force océanique stratégique suffisent à montrer que la France dispose de toutes les compétences technologiques requises pour mettre en œuvre de telles armes.

De la même façon, l'emport d'un laser sur un *cubesat* réutilisable suppose de disposer de **lanceurs « réactifs »**, dont le développement ne manquerait pas, selon le lieutenant-colonel Thierry Cattaneo, d'être vu par d'autres puissances comme la préfiguration d'un missile antisatellites ou antimissiles.

Néanmoins, du fait des risques de dommages collatéraux qui résultent de la multiplication des débris en orbite à la suite de la destruction d'un objet spatial, la destruction d'objets spatiaux dans une logique non maîtrisée ne peut être vue que comme une option de **dernier recours** ou un moyen d'action « **du faible au fort** ».

### *b. Des démonstrateurs de technologies de rupture*

M. Jean-Yves Le Gall a souligné que la miniaturisation des technologies spatiales facilite grandement la construction de démonstrateurs ; cette activité est donc appelée à croître. Un nano-satellite présenté au forum d'innovation de défense en 2018 – et développé sur la base de la plateforme générique Angels développée par le CNES – illustre cette facilité : un projet lancé en 2017 aboutit à un lancement dès 2019.

Pour les rapporteurs, le lancement d'un ambitieux programme de démonstrateurs de moyens spatiaux innovants permet de concilier, d'une part, le nécessaire soutien de l'État dans l'exploration des technologies de rupture susceptibles d'intéresser la défense et, d'autre part, les contraintes budgétaires pesant sur les armées.

Plusieurs technologies semblant prometteuses leur ont été présentées.

#### *i. Les constellations de satellites*

Le commandant interarmées de l'espace a jugé prometteurs les **usages militaires possibles des constellations en orbite basse**. Par exemple, en matière d'observation, des constellations permettraient de disposer de résolutions restant « *acceptables* », avec un avantage considérable : une augmentation du taux de revisite « *qui garantirait presque une permanence de l'observation* ».

Les rapporteurs ont pris connaissance en détail des projets d'Airbus Defence & Space en la matière. La société développe un projet de constellation de minisatellites optiques pour des applications dans les champs de la sécurité et de la cartographie, dont la résolution atteint 50 centimètres – ce qui relève de la très haute résolution, quoi que moins précis que Pléiades NEO – mais opère plusieurs dizaines de passages par jour au-dessus de la même zone géographique. Les cadres d'Airbus Defence & Space expliquent capitaliser ainsi sur les satellites OneWeb, modifiés pour l'observation optique. Un lanceur Vega peut en porter huit, un lanceur Soyouz dix-huit. Les orbites concernées sont défilantes et telles que les horaires de passage des satellites sur une zone donnée changent en permanence et s'articulent de façon à assurer de très hauts taux de revisite. Avec huit appareils, une telle constellation peut survoler un pays une fois par heure ; avec seize, toutes les 30 minutes. Un tel système permet de comparer les changements intervenus entre deux passages et ainsi les surveiller de façon étroite.

Les constellations en orbite basse sont-elles appelées à supplanter les objets géostationnaires ? Le directeur des relations institutionnelles de Thales

Alenia Space a fait valoir au contraire la **complémentarité des systèmes spatiaux en orbite géostationnaire et en orbite basse**. En effet, les satellites placés en orbite géostationnaire permettent de couvrir en permanence des zones d'intérêt – par exemple l'« arc de crise » identifié par le Livre blanc de 2008 –, ce qui justifie l'investissement de la Défense dans Syracuse. En outre, « *une constellation a un "coût d'entrée"* » : tant qu'une constellation n'est pas complète, la capacité qu'elle est censée fournir reste lacunaire. De ce fait, pour tirer pleinement parti des possibilités offertes par les constellations, il faut donc pouvoir « investir d'emblée massivement ».

ii. Les véhicules spatiaux manœuvrants : *Space Start*, *Space Tug* et *Space Rider*

Le commandement interarmées de l'espace observe avec intérêt les développements en cours en matière de véhicules spatiaux inhabités et manœuvrants, le général Michel Friedling s'étant même dit **convaincu que les véhicules spatiaux de services en orbite auront des applications militaires**. Parmi ces développements, on citera les projets de véhicules de services en orbite suivants :

– le *Space Rider* est développé par la branche italienne de Thales Alenia Space avec le soutien de Dassault, qui fait ainsi fond sur les compétences qu'il avait capitalisées dans le programme Hermès. Il s'agit d'un véhicule spatial réutilisable destiné aux orbites basses, à l'instar du X37 américain. **L'Agence spatiale européenne en finance un démonstrateur, qui pourrait déboucher sur un programme**. Dassault participe d'ailleurs au projet *Space Rider* ;

– le *Space Tug* que développe Airbus Defence & Space est destiné aux **orbites géostationnaires, où il pourra demeurer plusieurs années**. La ministre des Armées a d'ailleurs évoqué ce projet de navette, qui a pour objectif civil de repositionner des satellites ayant épuisé leurs réserves de carburant sur une orbite correcte, voire de les ravitailler. Ce projet comporte plusieurs défis : s'approcher d'un objet spatial de façon automatisée, arrimer un *Space Tug* à l'objet spatial concerné – ce qui suppose de bien le connaître, chose moins aisée pour les satellites fabriqués par les concurrents du fabricant de la navette –, et relâcher le satellite une fois celui-ci ravitaillé. Sur la base de ce premier projet, on peut envisager d'autres applications, comme par exemple l'observation en champ très proche. À cette fin, M. Nicolas Chamussy a indiqué que Airbus Defence & Space pourrait fournir aux armées un « **géocroiseur** », c'est-à-dire un **engin capable de dériver dans les orbites géostationnaires pour des missions de reconnaissance et de captation d'images** dans ces orbites. L'industriel indique en effet posséder un ensemble de solutions technologiques dont il se fait fort de pouvoir présenter une démonstration dans des délais réduits ;

– le *Space Start* est un véhicule de service en orbite développé par Thales Alenia Space, qui envisage pour 2022 la construction d'un démonstrateur pour le compte de l'Agence spatiale européenne. L'engin serait capable d'effectuer des

missions de ravitaillement (*refueling*) énergétique d'engins spatiaux et de changement d'un boîtier électronique sur un satellite.

On peut imaginer pour de tels outils des applications d'escorte spatiale, voire d'autres applications si l'engin spatial est équipé de capteurs ou d'effecteurs spécifiques – comme, par exemple, un laser. Lors de leur déplacement sur le site de Thales Alenia Space à Cannes, les rapporteurs ont pu visiter les laboratoires développant les **techniques de rendez-vous dans l'espace**, pour lesquels l'encadré ci-après présente l'état d'avancement de la R&D française.

#### LES TECHNIQUES DE RENDEZ-VOUS DANS L'ESPACE

Les technologies concernées sont en cours de développement **depuis le début des années 2000**, dans le cadre de projets de missions sur Mars. Plusieurs contrats de soutien au développement de ces technologies ont été obtenus, notamment auprès de l'Agence spatiale européenne et de la Commission européenne, en vue de développer des technologies utiles à divers services spatiaux comme la **désorbitation** de satellites et le ravitaillement (*refueling*) énergétique d'engins spatiaux.

En effet, de telles applications supposent de maîtriser et d'intégrer plusieurs briques technologiques parmi lesquels les chercheurs de Thales Alenia Space ont cité :

- différents capteurs optiques et radars ;
- des moyens d'observation et d'illumination des objets à proximité du vecteur ;
- des algorithmes complexes pour ajuster les manœuvres ;
- un bras articulé et robotisé, doté de capteurs tactiles de force.

En l'état, les recherches permettraient des démonstrations d'approche d'un satellite « *cible* » par un satellite « *chasseur* » à une distance réduite, de l'ordre de 20 à 40 mètres, Thales Alenia Space estimant que les Japonais et les Américains sont aujourd'hui capables de telles approches en orbite à une distance de l'ordre de 100 mètres ou 150 mètres. Ces distances, qui pourraient se réduire, correspondent à un « **cercle d'évitement** » autour des satellites actifs, afin d'éviter toute collision – mutuellement dommageable – en cas de manœuvre du satellite « *cible* ».

Pour l'heure, l'état de maturation des technologies permet d'envisager l'entrée en contact d'un satellite « *chasseur* » avec un satellite « *cible* » à condition que celui-ci soit une « **cible collaborative** », c'est-à-dire qu'elle soit équipée de « *marqueurs* », que son architecture soit connue et qu'elle s'abstienne de manœuvres d'évitement.

En parallèle, **Thales Alenia Space travaille aussi à des techniques d'approches de cibles non-coopératives**. L'ESA coordonne d'ailleurs des travaux autour d'un « *cas d'études poussées* » : celui du satellite ENVISAT, satellite de plus de huit tonnes dont le fonctionnement s'est brusquement interrompu en 2012.

Selon les explications des chercheurs, le développement des services en orbite tels que le *refueling* supposera des adaptations des satellites « *cibles* », avec l'adjonction de marqueurs et d'interfaces techniques spécifiques. Néanmoins, même à défaut de ce type de dispositifs, il restera possible pour les satellites « *chasseurs* » de saisir l'anneau de lancement du satellite « *cible* » pour désorbiter celui-ci, rectifier son orbite, ou lui greffer un moteur supplémentaire.

Airbus Defence & Space, pour sa part, est maître d'œuvre d'un programme de l'Agence spatiale européenne appelé *Automated Transfer Vehicle* (véhicule de transfert automatique), dans le cadre duquel cette société a développé des techniques de rendez-vous automatique en orbite, y compris dans une situation non-coopérative.

**Les rapporteurs recommandent que la France soutienne le financement de démonstrateurs de ces capacités par l'Agence spatiale européenne, voire que le ministère des Armées commande son propre démonstrateur afin de tester des applications spécifiquement militaires.**

iii. Les pseudo-satellites

Les pseudo-satellites de haute altitude – ou *High Altitude Pseudo Satellite* (HAPS) constituent un autre champ de R&D prometteur d'applications innovantes et de grand intérêt pour les armées. Thales Alenia Space développe depuis plusieurs années un ballon dirigeable appelé Stratobus, et Airbus Defence & Space une plateforme aérienne mue par l'énergie solaire appelé Zéphyr. L'encadré ci-après présente ces développements.

### ZÉPHYR ET STRATOBUS

#### • Le projet Stratobus de Thales Alenia Space

Le déplacement sur le site de Thales Alenia Space a permis aux rapporteurs d'étudier le projet de ballon stratosphérique **Stratobus** avec M. Guy Boullenger, directeur de ce programme. Le lancement de ce projet a été soutenu par la banque publique d'investissement dans le cadre de la deuxième phase de l'opération « Nouvelle France industrielle », le ministre de l'Économie d'alors ayant montré un intérêt marqué pour cette idée.

Stratobus se présente comme un **ballon dirigeable stratosphérique** de 140 mètres de long, gonflé à l'hélium et mû par quatre moteurs électriques eux-mêmes alimentés, le jour, par des panneaux solaires et, la nuit, par des batteries. Ce dispositif permet soit de faire manœuvrer le ballon, soit de le maintenir en place en dépit des vents de haute altitude. Certaines technologies ont été développées en lien avec le CEA.

Un tel engin présenterait l'avantage d'être placé hors de portée de la plupart des moyens communs de défense antiaérienne, à 20 kilomètres d'altitude. En outre, cette altitude étant supérieure à celles des couloirs aériens de circulation et des espaces aériens soumis au contrôle des États, un Stratobus pourra être déployé au-dessus de tout point du globe sans risque de perturbation du trafic aérien. Son principal intérêt tient surtout à **sa stabilité et à sa permanence** : il est conçu pour pouvoir rester stable pendant un an, alors que les drones d'observation ne peuvent voler que quelques heures et que même les planeurs stratosphériques en cours de développement n'ont un temps de vol que d'une vingtaine de jours. Stratobus pourrait emporter une charge utile de 250 kilogrammes alimentée par une puissance électrique de cinq kilowatts-heure. Selon les explications de M. Guy Boullenger, cette capacité d'emport est compatible avec « *un vrai système opérationnel* », tel que, par exemple, un « *vrai radar aéroporté* » ou un télescope gyrostabilisé.

Les applications imaginables d'un tel dispositif sont nombreuses : surveillance, observation ou bulle de télécommunications à haut débit dans un rayon de 100 à 500 kilomètres au sol.

Si le développement du projet trouve un financement, l'appareil pourra être opérationnel **vers 2022 ou 2023**. À cette fin, Thales Alenia Space envisage un consortium entre la France, l'Italie et l'Espagne en vue de solliciter un soutien du *European Defence Industrial Development Programme*.

• **Le projet Zéphyr d'Airbus Defence & Space**

Le **Zéphyr** se présente comme un grand avion solaire équipé de panneaux solaires. L'appareil, **alimenté uniquement par énergie solaire**, pèse 70 kilogrammes et sa caméra, développée par Airbus, permet de capter des vidéos à haute résolution – 25 cm aujourd'hui, 15 cm bientôt. Un système Zéphyr a volé 26 jours durant l'été 2018, la seule limite tenant lors de cet essai au calendrier d'autorisations de vol. **L'objectif visé est de voler de manière opérationnelle pendant 100 jours.**

Un Zéphyr vole à 20 km d'altitude, donc au-dessus des espaces aériens contrôlés, et a une signature radar très faible, rendant son interception difficile. L'objectif de ce « chemin technologique » consiste bien à disposer **d'outils souples, discrets et peu coûteux pour assurer des missions de surveillance en temps réel et à haute résolution.**

Il est à noter que le Zéphyr a déjà effectué ses premiers vols.

**Les rapporteurs relèvent que l'intérêt de ces projets est largement reconnu. Même leurs interlocuteurs à Washington ont noté que Google, qui poursuit de projets de HAPS, est moins avancé que les industriels français. M. Joël Barre a souligné l'intérêt qu'aurait un Statobus, notamment en matière de surveillance maritime ; selon Thales Alenia Space, sept Stratobus suffiraient à couvrir l'ensemble de la Méditerranée avec des capteurs d'excellente résolution. Les rapporteurs plaident donc en faveur du lancement d'un programme de démonstrateur de HAPS militaire.**

iv. Les lanceurs « réactifs »

Plusieurs projets de lanceurs légers sont à l'étude. Il s'agit, pour l'essentiel, de trouver des moyens de lancer des satellites « à la demande », dans un délai très court et pour un prix limité.

Ainsi, l'ONERA, avec plusieurs partenaires européens, a répondu à un appel à projet lancé en 2014 par la Commission européenne en soumettant un projet de lanceur réutilisable appelé **Altair**. Il s'agit d'un aéronef automatisé et réutilisable embarquant un lanceur pour petits satellites (jusqu'à 150 kilogrammes en orbite basse). Ce projet a été retenu et sera testé en 2019 à Kourou. C'est d'ailleurs une voie que Dassault avait explorée il y a plusieurs années, avec le projet Pegasus.

Ces projets méritent d'être suivis avec intérêt. En effet, le ministère des Armées pourrait se trouver en situation d'avoir à remplacer rapidement un satellite endommagé, sans pouvoir attendre un lancement d'Ariane.

**C. POUR UNE « INCARNATION ORGANIQUE » DE LA DÉFENSE SPATIALE DANS L'ARCHITECTURE DES ARMÉES**

Une stratégie complète de défense spatiale ne peut pas faire l'économie de questions sur la gouvernance de la défense spatiale, trop souvent abordée sous le seul angle de la création d'une « *Space Force* à la française ». Mais compte tenu des faibles effectifs en jeu, même s'ils doivent assurément être renforcés,

constituer quelques centaines de personnels en armée à part entière pourrait être vu comme n'offrant pas d'irréfragables assurances contre le danger du ridicule.

Aux yeux des rapporteurs, il n'en faut pas moins conférer à la défense spatiale une « incarnation organique » dans l'architecture des armées. De plus, compte tenu du caractère dual des technologies, des compétences à l'œuvre et de certains moyens, l'articulation des organismes militaires chargés de la défense spatiale avec le CNES peut nécessiter quelques ajustements.

## **1. Pour un renforcement des ressources humaines des armées en matière de défense spatiale**

### ***a. Les effectifs affectés à la défense spatiale sont aujourd'hui insuffisants***

Rappelant que 290 personnels des armées seulement sont employés à des missions relevant de la défense spatiale – contre près de 9 000 aux États-Unis –, le chef d'état-major de l'armée de l'air a jugé cet effectif « **très insuffisant** » et souligné que le sous-effectif et la surcharge du commandement interarmées de l'espace sont aujourd'hui « *très clairs* ». Ils tendent d'ailleurs d'ores et déjà à s'aggraver, ne serait-ce que parce que ce commandement gère des demandes de coopération de plus en plus nombreuses.

Les rapporteurs ont pu constater très concrètement les conséquences de ce sous-effectif dans le fonctionnement du COSMOS, qui repose sur **une trentaine de personnels** seulement. Selon son commandant, cet effectif est « *nettement insuffisant* » car « **pour une permanence 24 heures sur 24, il faudrait trois fois plus de personnels** ». À défaut, aujourd'hui, le centre assure une permanence 24 heures sur 24 des fonctions de surveillance, mais les opérations de consolidation et d'exploitation des informations sont faites en journée. Quant au dispositif d'alerte prévu en cas de nécessité pour la conduite d'une opération spatiale ou le suivi d'un événement dans l'espace – un risque de collision ou de la rentrée d'un objet spatial dangereux –, l'expérience a prouvé que, faute de personnels, il est « *quasiment impossible de le maintenir actif plus de trois semaines de suite* ».

### ***b. Pour une hausse modeste des effectifs articulée avec la constitution d'une filière spécifique de gestion des ressources humaines***

- *200 effectifs supplémentaires peuvent suffire*

Le commandement du COSMOS a exprimé le besoin d'un renforcement substantiel de ses effectifs, surtout pour le cas – que recommandent les rapporteurs – où l'amélioration de la résilience de cette capacité devait passer par un système de redondance outre-mer. Les différentes évaluations des besoins fournies aux rapporteurs conduisent à penser que, raisonnablement, les effectifs consacrés à la défense spatiale mériteraient de passer de 290 à 500 personnels.

Aux yeux des rapporteurs, **un renforcement de 200 personnels ne paraît nullement hors de portée**, si l'on considère que cet effectif représente un peu moins que celui des deux musiques de l'Air.

- *Une filière de gestion des ressources humaines spécifique à la défense spatiale*

En plus des aspects quantitatifs de la question des ressources humaines de la défense spatiale, **la création d'une filière de gestion des ressources humaines d'excellence au niveau français ou européen constitue l'une des priorités annoncées par la ministre**. *A minima*, une filière d'excellence au sein du ministère des Armées doit être mise en place.

En effet, bien qu'elle fournisse 70 % des effectifs affectés à des activités spatiales, l'armée de l'air n'a pas pour autant mis en place de filière de formation et de gestion des ressources humaines adaptée à la spécificité des compétences requises pour le secteur spatial. Elle dispense certaines formations en lien avec l'ONERA.

Étendre le vivier de recrutement du COSMOS et du CIE – le cas échéant en ayant recours à la réserve – et développer les compétences spécifiques et poussées qui sont requises dans ces missions suppose donc de **mettre sur pied une filière de gestion des ressources humaines spécifique**. Le chef d'état-major de l'armée de l'air a d'ailleurs indiqué qu'il étudie la transformation de l'École de l'air en établissement public et la diversification de ses formations en les adaptant aux besoins nouveaux, parmi lesquels il a cité les technologies et les opérations spatiales.

## **2. Vers une « armée de l'air et de l'espace » ?**

### ***a. Les enjeux d'une « incarnation organique » de la défense spatiale***

Pour les rapporteurs, les choix concernant le statut et les missions de l'entité chargée de la défense spatiale revêtent principalement les enjeux suivants :

– un enjeu de visibilité : la création d'une entité nouvelle, chargée d'une mission nouvelle de défense spatiale, constituerait un signal adressé aux puissances susceptibles d'actions hostiles contre nos moyens spatiaux ;

– un enjeu d'expression des besoins : avoir un « sponsor » permet de peser davantage dans les arbitrages pour l'allocation des ressources, tant humaines que financières ;

– un enjeu budgétaire : l'ensemble des acteurs interrogés par les rapporteurs s'accorde à souligner **l'importance d'une « sanctuarisation » des crédits** destinés à la défense spatiale. Il s'agit d'éviter que les programmes d'équipements spatiaux, moins visibles et peut-être moins emblématiques de



l'armée de l'air que les équipements aéronautiques, ne pâtissent d'effets d'éviction préjudiciables à la crédibilité des capacités spatiales ;

– un enjeu opérationnel : la gouvernance retenue, notamment pour son articulation avec les opérateurs du CNES, doit permettre d'établir des procédures de planification et de conduite des opérations spatiales cohérentes avec le rythme de celles-ci.

### *b. Les solutions envisageables*

- i. Un périmètre de compétences large, incluant les ressources humaines, plaide en faveur d'un rattachement à l'armée de l'air

Si l'on exclut la constitution d'une armée à part entière, une entité chargée de la défense spatiale peut être rattachée **soit à une armée, soit au chef d'état-major des armées.**

**Parmi les armées, c'est à l'évidence l'armée de l'air qui est la mieux placée** pour comprendre en son sein une entité chargée de la défense spatiale. Outre que l'armée de l'air fournit 70 % des effectifs affectés aux activités spatiales, il y a d'indéniables similitudes entre les milieux spatial et aérien ; comme l'a dit le commandant interarmées de l'espace, « la "3D" est certainement "dans les gènes" de l'armée de l'air », et c'est d'ailleurs elle qui a développé GRAVES et le COSMOS. En outre, si les trois armées sont utilisatrices de services spatiaux et que l'espace revêt à ce titre une dimension interarmées, les deux autres abordent justement l'espace en position d'« utilisatrices de services » plutôt que d'opératrices. À l'inverse, l'armée de l'air n'est pas seulement « utilisatrice de services » spatiaux : elle considère ce milieu sous l'angle d'une certaine continuité entre le milieu spatial et le milieu aérien, dans lequel elle assure la mission de défense aérienne et tient à ce titre une « posture permanente de **sûreté** aérienne ». C'est ainsi que, selon le lieutenant-colonel Thierry Cattaneo, **l'armée de l'air assure déjà une sorte de posture permanente de sûreté spatiale.**

Comme l'a justement fait observer le général Michel Friedling, rattacher une entité chargée de la défense spatiale au chef d'état-major des armées ou au chef d'état-major de l'armée de l'air serait également recevable ; « *c'est un choix* ». Pour lui, **la question de la tutelle doit être traitée en fonction du champ de compétence d'une telle structure** : opérations spatiales, soutien aux exportations, suivi des programmes spatiaux, ressources humaines, etc. **Dans l'hypothèse d'un champ de compétences excédant le « noyau dur » des opérations spatiales, le chef d'état-major des armées pourrait très bien déléguer au chef d'état-major de l'armée de l'air la tutelle d'une telle structure.**

**Ainsi, la solution la plus raisonnable aux yeux des rapporteurs consiste à créer un grand commandement organique responsable de la défense spatiale au sein d'une armée de l'air de l'espace.**

ii. Une clarification possible des responsabilités autour du concept de « gestionnaire unique du milieu »

- *Une articulation du CNES et de l'armée de l'air à n'ajuster qu'à la marge*

Au COSMOS, certains cadres ont estimé que si l'on envisage de conduire, dans un proche avenir, « *de véritables opérations spatiales, au sens militaire du terme* », on pourrait à bon droit s'interroger, tant pour des raisons de confidentialité que de responsabilité, sur le point de savoir **si c'est à un organisme civil comme le CNES de procéder à ces opérations**. Pour les rapporteurs, en revanche, détacher du CNES certains de ses services ou les isoler du reste de l'institution au sein d'une direction des applications militaires conduirait inévitablement à des duplications de moyens que la France ne saurait se permettre et priverait les opérateurs concernés du CNES de synergies enrichissantes entre les secteurs militaire et civil. Un ajustement pourrait consister à **détacher au sein des services compétents du CNES des officiers de liaison du COSMOS**. Le fait que le CNES compte le ministère des Armées parmi ses autorités de tutelle devrait faciliter un tel ajustement.

Par ailleurs, pour le lieutenant-colonel Thierry Cattaneo, **l'accélération du rythme des opérations spatiales appelle une clarification des responsabilités administratives** dans la gestion des risques de collisions. Aujourd'hui, c'est le CNES qui est investi de pouvoirs de police administrative pour autoriser les opérations spatiales. Mais, pour les responsables du COSMOS, exercer de telles responsabilités dans le contexte actuel **nécessite de disposer de données** de suivi des objets en orbite. À ce titre, **au moins pour fournir un service d'enquête en cas d'accident**, le COSMOS pourrait prendre un plus grand rôle dans la gestion des risques de collision.

- *Une clarification des responsabilités « en haut de la chaîne »*

Le colonel Thomas Vinçotte et le commandant du COSMOS ont plaidé en faveur de la désignation de l'armée de l'air comme « **gestionnaire unique du milieu** » spatial.

Selon leurs explications, il s'agit **a minima de confier à l'armée de l'air la responsabilité de coordonner l'ensemble des acteurs** intéressés par la défense spatiale. Il ne s'agit donc ni de transfert à l'armée de l'air de services du CNES ou à quelque autre organe des armées, ni même, d'ailleurs, de colocalisation du CNES et des autorités militaires compétentes. Mais, à leurs yeux, il s'agit de définir des « **modalités de travail plus directes, en réseau, soutenues par une infrastructure numérique moderne** ».

Par analogie avec l'organisation retenue pour la défense aérienne, au titre de laquelle le colonel Thomas Vinçotte exerce les fonctions de « haute autorité de

défense aérienne », ce « gestionnaire unique du milieu » pourrait être placé sous le commandement d'une « **haute autorité de défense spatiale** ».

En tout état de cause, afin de « sanctuariser » autant que possible les ressources budgétaires de la défense spatiale, les moyens de cet organisme mériteraient d'être identifiés dans un **budget opérationnel de programme (BOP)** spécifique, ainsi que de trouver une traduction aisément lisible dans la **nomenclature budgétaire des lois de finances**.

## **D. ADOSSER LA DÉFENSE SPATIALE À UNE POLITIQUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE AFFERMIE**

Une politique de défense spatiale n'est viable que si elle est adossée à une politique industrielle et scientifique ambitieuse. Celle-ci doit passer dans l'immédiat par un soutien à la R&T et à la R&D dans des voies technologiques d'avenir, élaborées conjointement par les acteurs de l'écosystème spatial français. Orientée vers la préparation de l'avenir, elle s'inscrit ainsi dans les perspectives de long terme de la conquête spatiale.

### **1. Un effort de R&T et de R&D dans de grands champs de technologies spatiales duales**

M. Bruno Sainjon a présenté les « feuilles de route » technologiques qu'élabore l'ONERA pour donner un cap à ses travaux. Deux d'entre elles ont déjà été évoquées, concernant pour l'une la surveillance de l'espace et, pour l'autre l'accès à l'espace.

#### ***a. Les « feuilles de route technologiques » de l'ONERA***

Suivant les « feuilles de route » technologiques élaborées par l'ONERA, dont les rapporteurs soulignent l'intérêt, l'effort de soutien à l'innovation pourrait utilement s'orienter dans les axes suivants.

##### **i. L'alerte spatiale avancée, prolongement de la surveillance de l'espace**

Comme l'indique la Revue stratégique, « *une capacité d'alerte avancée permettrait de mieux caractériser la menace balistique, de déterminer l'origine d'un tir et d'évaluer la zone ciblée* ».

M. Bruno Sainjon a expliqué que l'alerte antibalistique est souvent associée à la surveillance de l'espace, car ce sont les objets spatiaux qui créent le plus souvent de fausses alertes dans les systèmes de détection balistiques. Mais, au-delà, pour être capable de contrer un missile balistique, le point clé est de pouvoir détecter son lancement suffisamment tôt pour permettre à un système de défense antimissile d'entrer en action ou d'alerter la zone ciblée avec un préavis suffisant. Un outil d'alerte avancée pourrait ainsi constituer le **premier maillon d'un système de défense antimissile balistique**. Cette alerte peut être obtenue

par l'intermédiaire de deux types de moyens : soit un ou plusieurs **satellites**, soit des **radars** basés au sol.

L'ONERA a déjà réalisé de premières études d'un tel moyen en faisant fond sur les connaissances acquises dans le cadre du projet de système préparatoire infra-rouge pour l'alerte (**Spirale**). En effet, de 2004 à 2011, Airbus a conçu, développé, lancé et opéré pour la DGA un **démonstrateur de système spatial d'alerte avancée appelé Spirale**, Thales ayant développé en parallèle un autre démonstrateur, reposant sur des radars. Selon M. Nicolas Chamussy, Spirale est « *un succès incontesté* » : ce démonstrateur a prouvé qu'il est possible d'observer et de suivre les missiles depuis l'espace et, ce, avec encore plus de précision que prévu. Les contraintes budgétaires n'ont pas permis l'intégration d'un programme d'alerte avancée dans les programmations militaires successives depuis lors.

Le démonstrateur Spirale a toutefois permis la constitution d'une **base de données** qui comprend un très grand nombre d'images indispensables à la compréhension des phénomènes naturels et physiques susceptibles d'engendrer de fausses alertes lors de la détection des missiles pendant leur phase propulsée. Airbus Defence & Space a été chargé d'exploiter cette base de données et s'est attaché pour ce faire le concours de l'ONERA. Ces analyses sont indispensables pour être en mesure de définir les performances attendues de l'instrument infrarouge qui constituerait la charge utile d'un satellite d'alerte avancée.

Une feuille de route de l'ONERA explore notamment les **possibilités de miniaturisation d'un tel instrument dans le but d'en réduire le coût**. L'Office juge également « très intéressante » l'option d'un recours à des plateformes très haute altitude du type Stratobus pour un système d'alerte à l'échelle régionale ; il signale d'ailleurs qu'un programme d'études amont appelé Mirador a été lancé sur ce type de plateforme.

Ainsi, comme l'a fait valoir M. Nicolas Chamussy, la France maîtrise dès à présent « *toutes les briques d'une première capacité opérationnelle* » : Ariane Group pour la modélisation des signatures de missiles balistiques, et Airbus pour l'observation des tirs grâce au système Spirale. Aussi les représentants d'Airbus Defence & Space ont-ils **plaidé en faveur du lancement d'un démonstrateur pré-opérationnel d'alerte spatiale**, faisant valoir les arguments suivants :

– avec le développement d'une **connaissance de tous les missiles tactiques et stratégiques en service**, nécessaire pour apporter la « *preuve par l'image* » de l'identité de l'agresseur, un tel programme **contribuerait à la fois à la dissuasion et à la défense anti-missile** de territoire comme de théâtre ;

– il contribuerait aussi à **renforcer les outils de surveillance de l'espace** par le suivi des lancements spatiaux et l'intégration d'une « voie visible » permettant de conduire les missions de surveillance sur des cibles furtives au-delà

des orbites basses, qui sont aujourd'hui les seules couvertes par les systèmes optiques et radar de surveillance ;

– **l'Allemagne envisage sérieusement de développer un tel système** ; alors que la France investit depuis trente ans et dispose aujourd'hui d'une avance technologique, elle risque donc d'être dépassée dès le début de la prochaine décennie par les premiers programmes allemands ;

– les Russes travaillent aujourd'hui à améliorer la furtivité de leurs missiles et de leurs têtes nucléaires ;

– un démonstrateur français pourrait être construit de façon à être interopérable avec le démonstrateur en cours d'étude en Allemagne et constituer ainsi une **contribution en nature de la France à la défense anti-missile balistique de l'OTAN**, avec des retombées plus favorables à notre base technologique et industrielle que si l'Alliance retient des systèmes non européens.

Airbus Défense & Space a en outre averti que sans contrat d'armement ou d'études d'ici 2019, il lui sera difficile de conserver ses équipes de chercheurs, dont la dispersion aurait pour conséquence une **perte de compétences** pour l'industrie française.

En matière d'alerte avancée il faut rappeler aussi que le missile **Aster 30 block 1 NT** dispose d'une capacité antibalistique, et la France prévoit de moderniser les radars afférents. Ainsi, une **capacité de défense anti-missile de théâtre** sera disponible en 2025. Il est envisageable de s'appuyer sur cette capacité pour construire un système d'alerte avancée global et incrémental incluant une composante spatiale. Une telle capacité pourrait alors constituer **une brique servant de contribution en nature à la défense de l'OTAN**, tout en servant de **capacité minimale d'appréciation autonome**.

## ii. La survivabilité des moyens orbitaux

Comme l'a expliqué M. Bruno Sainjon, la connaissance des aspects « météorologiques » de l'environnement spatial est importante pour le maintien des capacités spatiales, car l'environnement y est naturellement agressif, du fait – entre autres facteurs – des bouffées de rayons gamma ou de l'oxygène monoatomique toxique pour certains composants.

La **survivabilité des systèmes spatiaux** représente ainsi un champ de recherches majeur de l'ONERA, appelé « **météorologie spatiale** ». Elle permet aussi **d'analyser des attaques volontaires** et de développer des moyens de « **blindage** » des satellites. Il s'agit de **caractériser les menaces** d'origines naturelle ou intentionnelle auxquelles sont exposés nos propres systèmes orbitaux, c'est-à-dire de mesurer leur dangerosité et les risques encourus afin d'en déduire des **solutions envisageables d'atténuation de ces risques, voire de protection** la plus étendue possible. La feuille de route de l'ONERA consacrée à la survivabilité

des systèmes spatiaux est jalonnée par trois catégories d'activités que présente l'encadré ci-après.

### LA SURVIVABILITÉ DES SYSTÈMES SPATIAUX

Trois types d'activité entrent dans le champ des études de l'ONERA sur la survivabilité des systèmes spatiaux :

– la « **météorologie spatiale** », qui consiste à décrire l'environnement spatial naturel rencontré par les systèmes spatiaux et prédire l'évolution de celui-ci pour une durée allant d'un jour à un mois. Cette météorologie est nécessaire pour diverses applications, par exemple pour prédire les conditions de propagation des communications et la performance des systèmes de navigation. Il faut, pour cela, constituer des prototypes de services de météorologie spatiale et développer des modèles de climatologie de l'environnement spatial radiatif, afin d'être en mesure de réduire les marges de conception – et donc les coûts – des systèmes spatiaux. Il faudra en outre caractériser l'impact des agressions naturelles sur les fonctions et composants des engins spatiaux ;

– concernant les agressions intentionnelles contre les systèmes spatiaux, M. Bruno Sainjon a expliqué qu'il s'agit d'identifier et de **caractériser les agressions susceptibles d'être mises en œuvre dans l'espace ou depuis le sol contre des systèmes en orbite**. La caractérisation des agressions concerne essentiellement leurs propriétés physiques, leur probabilité d'occurrence et la compréhension des dommages qu'elles sont susceptibles d'infliger. Il s'agit d'une activité exploratoire concernant un large spectre de menaces susceptibles de causer toutes sortes de dommages, de la neutralisation de composants embarqués à la destruction de systèmes orbitaux, qu'il s'agisse de destruction physique ou fonctionnelle ;

– les activités relatives à la vulnérabilité et à la survivabilité des systèmes orbitaux aux agressions visent à **qualifier et à quantifier la vulnérabilité des systèmes orbitaux** face aux agressions naturelles et intentionnelles. Cette vulnérabilité, définie par le risque de dégradation de la qualité ou de la perte du service rendu par le système orbital, sera évaluée en combinant la probabilité d'occurrence de l'agression et la gravité des dommages possibles, sur tout ou partie de la chaîne fonctionnelle liée à la mission. Sur cette base, il faudra évaluer différentes solutions susceptibles d'améliorer la survivabilité des systèmes orbitaux, parmi lesquelles M. Bruno Sainjon a cité **le blindage, l'éclatement en constellations**, ou la protection de nos satellites par des **satellites patrouilleurs** équipés de moyens de détection.

Le général (2S) Philippe Steininger, conseiller militaire du président du CNES, a souligné l'importance du « *durcissement* » des composants des satellites français, dès leur construction, et du choix de composants « *sûrs* ». M. Jean-Yves Le Gall a ajouté que construire un satellite totalement « *ITAR-free* » est « *quasiment impossible* » car l'industrie américaine dispose de quasi-monopoles pour certains composants, comme les câbles – le mètre de câble européen « *spatialisé* » est beaucoup plus cher.

Néanmoins, MM. Jean-Yves Le Gall et Bruno Sainjon s'accordent à dire qu'**aucune garantie absolue d'inviolabilité des systèmes orbitaux ne peut être donnée**, ce qui conduit à **privilégier une logique de redondance**. Il s'agit d'étudier l'intérêt, le potentiel et les limites d'emploi d'**architectures réparties en de quelques dizaines de satellites miniatures** plutôt que concentrées sur des

systèmes volumineux complexes et coûteux. De plus, il faudra imaginer des objets **remplaçables** et pouvoir garantir la capacité de lancer un satellite de remplacement à court préavis.

iii. De nouvelles générations de charges utiles de reconnaissance

- *Exploiter les possibilités offertes par la miniaturisation des engins spatiaux et leur fonctionnement en constellations*

La feuille de route de l'ONERA intitulée « missions et capteurs pour microsattelites » repose sur le constat selon lequel la montée en puissance des technologies de l'information et de la communication met en évidence que **le nombre et la répartition des capteurs sont de la plus haute importance**. L'avènement des **petits satellites** ouvre en parallèle la possibilité de disposer de **plateformes souples et multiples**, qu'évoque l'encadré ci-après. Le défi pour les futurs capteurs est de **combinaison la performance avec la compacité requise** par ces nouveaux usages. Les dernières années ont vu des *start-up* investir ce secteur pour proposer des services utilisant de nombreux petits satellites fabriqués à bas coût, plutôt que de grands satellites aussi onéreux que performants.

#### LES FORMES VARIÉES DES CONSTELLATIONS DE SATELLITES

Ces essais se présentent sous diverses formes. La plus largement déployée est la constellation sur plusieurs plans orbitaux de satellites identiques. D'autres concepts sont proposés ou en voie de déploiement, parmi lesquelles M. Bruno Sainjon a cité des constellations sur plusieurs types d'orbites (*SpaceX*), des constellations de satellites hétérogènes, des « *grappes en vol en formation* », ou le concept de « vaisseau mère » sur lequel travaille Thales Alenia Space.

Actuellement, les constellations du « *new space* » présentent des **performances modestes** en matière de résolution au regard des besoins des militaires (1 à 4 mètres pour *Planet*), mais elles ont le double avantage, d'une part, de réduire largement les temps d'accès, à quelques dizaines de minutes et, d'autre part, de s'inscrire dans un modèle économique de « service aux utilisateurs », avec des produits issus du traitement des données massives collectées et fusionnées avec d'autres sources d'information.

La démarche proposée par l'ONERA vise à exploiter les acquis du *New Space* – qui ont rendu possibles les grandes constellations –, tout en intégrant les **dernières avancées en matière de développement de capteurs et de robotique spatiale**. La très forte accélération de l'innovation dans le domaine des microsattelites et des nano-satellites fait peser sur ces développements un risque d'obsolescence rapide. L'ONERA cherche donc à proposer en la matière des démonstrateurs particulièrement ambitieux, visant des technologies de rupture et non des évolutions incrémentales. Selon ses explications, deux voies complémentaires sont systématiquement explorées pour dépasser les limites techniques des plateformes usuelles :

– une **recherche de compacité de la charge utile**, qui repose essentiellement sur des avancées technologiques en matière de capteurs et sur

l'utilisation de composants « non spatialisés », dits COTS (pour *Commercial Off The Shelf*, c'est-à-dire « technologie civile acquise sur étagère ») ;

– une recherche de **solutions permettant de s'affranchir des contraintes de taille**, qui sont généralement de trois ordres : l'utilisation de structures déployables au niveau du satellite lui-même, le vol en formation ou l'assemblage en orbite – qui permet de combiner des capteurs répartis au lancement sur plusieurs satellites –, ou encore l'utilisation d'essaims ou de constellations pour augmenter les performances du système global.

M. Bruno Sainjon a fait valoir que cette « révolution “Missions et capteurs” » concerne toutes les missions intéressant la défense, y compris la surveillance de la scène opérationnelle, la surveillance de l'environnement naturel et de l'activité anthropique, ou le renseignement. La feuille de route de l'ONERA propose des actions d'étude et de réalisation de capteurs pour toutes ces catégories de missions.

Il a précisé que, s'agissant par exemple de l'optique, « *il est aujourd'hui parfaitement envisageable dans un avenir proche d'atteindre une très haute résolution spatiale avec des satellites de petite taille* ». Pour ce faire, une piste « *très prometteuse* » consiste à remplacer le miroir des grands télescopes optiques par un ensemble – appelé une « matrice » – de petites lentilles associées à un plan focal de détecteurs et à combiner les informations élémentaires ainsi recueillies par un procédé appelé « interférométrie ». Grâce à cette technique, un instrument ayant la même résolution que le télescope spatial Hubble – dont l'instrument optique mesure près de neuf mètres de longueur – pourrait être compacté dans une épaisseur d'environ quatre centimètres. En outre, par rapport à un instrument d'optique classique, les contraintes d'alignement mécaniques seraient relâchées.

#### iv. Préparer dès à présent la relève de CSO

Lors de leurs déplacements sur les sites de Thales Alenia Space à Cannes et d'Airbus Defence & Space à Toulouse ainsi qu'au centre spatial de cette même ville, les rapporteurs ont pu se faire présenter les travaux en cours pour prendre le relais de la génération de satellites d'observation optique CSO dont le lancement a commencé le 19 décembre 2018 et qui doivent rester en service environ dix ans. En effet, compte tenu du temps de développement d'un système de remplacement, qui prend six à sept ans selon Thales Alenia Space, les industriels considèrent que les études relatives à ce remplacement doivent être anticipées. Leur objectif principal est d'améliorer l'efficacité des systèmes existants en résolution et temps d'accès à l'image, suivant des moyens que détaille l'encadré ci-après.



## LES TECHNOLOGIES ENVISAGEABLES POUR LA PROCHAINE GÉNÉRATION DE SATELLITES DE RENSEIGNEMENT OPTIQUE

Le centre spatial de Toulouse travaille à la levée des risques concernant les technologies innovantes qui vont améliorer les performances de cette future génération :

– des **télescopes dotés de miroirs de plus en plus grands**, afin d'améliorer la résolution des images ;

– des **détecteurs CCD** (*Charge Coupled Device*, dispositif à transfert de charges) à haute performance, qui permettent d'atteindre une extrêmement haute résolution (EHR) sans nécessité de ralenti sur image, tout en réduisant les coûts et garantissant un haut degré de sécurité des approvisionnements et la maîtrise des coûts. Le CNES travaille en parallèle sur une autre technologie de prototypage d'un détecteur CMOS XS à six bandes ;

– des **développements numériques** visant à maîtriser le volume des données, qui croît de façon exponentielle avec l'amélioration de la résolution des capteurs. Il s'agit d'opérer un premier traitement des données au sein même du satellite afin d'écarter les données inutiles et d'optimiser ainsi les transmissions de données au sol. La DGA a déjà lancé des programmes d'études amont en ce sens.

Selon les précisions des opérateurs du centre d'expertise en qualité de l'image, le CNES étudie aussi :

– des **miroirs déformables et plus légers** que les miroirs actuels, tels que ceux déjà utilisés en astrophysique ;

– les technologies d'image **en trois dimensions et en couleur**, dont les rapporteurs ont pu voir une simulation ;

– des technologies améliorant la **maniabilité** des satellites.

Au total, le CNES consacre au « post-CSO », sur plusieurs années, une centaine de millions d'euros et 150 personnes.

Les chercheurs de Thales Alenia Space, pour leur part, ont expliqué que la R&D travaille non seulement à **faire progresser la maîtrise de miroirs de plus en plus grands**, mais aussi à des solutions d'articulation de plusieurs miroirs. En effet, pour obtenir des images de très haute résolution *via* un système géostationnaire, il faudrait en l'état de l'art un miroir de 15 mètres de diamètre, ce qui ne rentrerait pas sous une coiffe de lanceur.

Concernant par ailleurs les systèmes en orbite basse, **les chercheurs de Thales Alenia Space ont expliqué que la R&D mise sur une technologie dite d'« optique active »**, dont les rapporteurs se sont fait présenter les principes, les objectifs et l'état de maturation actuel. Avec l'appui financier du CNES, Thales Alenia Space développe des algorithmes capables de mesurer les erreurs causées sur les images par les déformations des miroirs – phénomènes inévitables compte tenu des rudes conditions de lancement et de l'environnement spatial –, les analyse, et apprend à les corriger. Ultérieurement, ce sont d'ailleurs de véritables techniques d'apprentissage automatique qui pourraient servir aux systèmes d'optique active.

### ***b. Un nécessaire accroissement du soutien à la R&T sans application immédiate (dite la « deep tech »)***

Le président-directeur général de l'ONERA a signalé deux points d'attention dans l'allocation des moyens de soutien à la R&T et à la R&D :

– une insuffisante **acceptation de la prise de risque**, qui « *corsète les contrats de R&D* » en imposant la fixation d’objectifs dont l’attente est assortie de pénalités : « *cela ne pousse pas à fixer des objectifs ambitieux...* » La DARPA, elle, n’a certes guère plus de 20 % de réussite parmi ses projets, mais les projets qui réussissent sont particulièrement rentables. Cette stratégie d’acceptation du risque confère aux Américains, et aux Chinois, le monopole des innovations majeures ;

– **la R&T est souvent guidée par des besoins immédiats par l’industrie**, suivant de ce fait une approche trop souvent de court terme. En général, si le niveau des ingénieurs et scientifiques français est bon, l’industrie a tendance à les employer à des projets de termes de plus en plus courts.

« *Il faut faire davantage de place au “savant-fou”* », ce qui peut être fructueux. À titre d’exemple, M. Bruno Sainjon a cité la pale en boomerang du H160 est issue de travaux « *des “aérodynamiciens fous” de l’ONERA* », qui ont pu discuter avec ceux d’Airbus et de la DGA, cette dernière décidant de financer des études amont en la matière ; puis des paliers ont été franchis dans des TRL très bas dans les années 1990 et 2000, avec le soutien de l’ONERA et de son équivalent allemand. Le H160, grâce à ses pales, fera deux fois moins de bruit que les autres hélicoptères, à performances égales ; ce résultat est le fruit d’audace et de marge de manœuvre d’il y a vingt ans. De même, dans les programmes d’investissement d’avenir, 1,7 milliard d’euros a été investi dans le secteur aéronautique, « *que les industriels ont réussi à capter entièrement* ». Ainsi, faute d’implication de l’État, l’investissement n’a pas concerné l’ONERA. Pourtant, « *l’ONERA est plus ou moins à la source de la plupart des développements technologiques du secteur* » ; à titre d’exemple, le décollage technologique d’Airbus remonte aux commandes électriques de l’A320, issu des technologies militaires développées avec l’appui de l’Office.

M. Jean-Yves Le Gall a fait valoir cependant que **toute comparaison internationale se heurte aux effets d’échelle**. Certaines méthodes diffèrent un peu – par exemple les hautes responsabilités confiées à des jeunes ingénieurs –, mais il ne faut pas voir le goût des Américains pour la prise de risque sous un angle trop romantique : « *si la France avait les budgets des États-Unis, elle se permettrait les mêmes prises de risque* ».

Pour les rapporteurs, si cette objection est assurément juste, il n’en demeure pas moins que l’enjeu de recherches « tous azimuts », dans la « *deep tech* », est trop important pour que la France ne les soutienne pas, ou si peu.

## **2. Un cap : « rester dans la course » pour ne pas être marginalisé dans la conquête de l’espace**

Pour les rapporteurs, la dimension onirique de l’espace n’est pas à négliger. Américains et Chinois ne manquent d’ailleurs pas de jouer sur l’imaginaire pour motiver leurs efforts dans le secteur des technologies spatiales.

Les *breakthrough starshot initiative* y contribuent, par exemple avec les projets de petits vaisseaux propulsés par lasers au sol au dixième de la vitesse de la lumière (soit 30 000 kilomètres par seconde environ). M. Bruno Sainjon a fait valoir que même en Europe, Philae a eu, à son heure, un grand retentissement à l'occasion de l'exploration de la comète Tchouri ; « *relancer le "rêve spatial" ne serait donc pas si malaisé* ». Les grandes ambitions ont toujours tenu une place particulière parmi les ressorts de la conquête spatiale. La France doit y avoir sa place.

**a. En dépensant peu : prendre des parts dans les projets les plus ambitieux**

i. L'importance des grands projets fédérateurs

Sans entrer dans des considérations anthropologiques sur le rapport de l'homme à l'espace infini, les rapporteurs constatent qu'au moins historiquement, les progrès dans les technologies spatiales ont été réalisés dans le cadre de grands élans de recherche servis par d'importants investissements que les États savaient rendre acceptables, et même désirables, en jouant sur le « rêve de l'espace ». Peut-être, d'ailleurs, est-ce dans ce type d'idéaux que l'on peut encore mobiliser une Nation. Au nombre des grands projets susceptibles d'avoir un effet mobilisateur en matière de conquête spatiale, le président-directeur général de l'ONERA a évoqué :

– la construction d'un **système de géoréférencement spatial**, c'est-à-dire « *un GPS ou un Galileo pour le système solaire* », qui pourrait utiliser comme base les pulsars, à l'instar des horloges atomiques embarqués dans les satellites Galileo ;

– **être capable d'explorer rapidement le système solaire** serait utile, et permettrait de s'affranchir des contraintes de lancement. En effet, aujourd'hui, les parcours des objets spatiaux sont indirects, par un souci d'économie d'énergie qui conduit à rechercher des frondes gravitationnelles ;

– la **conquête des ressources spatiales**. Par exemple, la fusion thermonucléaire contrôlée nécessite de l'hélium 3, très présent sur la Lune. Chinois et Américains envisagent des stations habitées autour de la Lune, mais l'Europe, qui conduit pourtant le projet ITER, n'a pas d'ambition en la matière.

Une mission lunaire ambitieuse pourrait elle aussi avoir un double intérêt technologique et économique. C'est d'ailleurs ce qu'a suggéré M. Alain Charneau à titre de grande ambition fédératrice pour le secteur spatial européen : une mission lunaire 100 % européenne en 2025 opérée par Ariane 6. Un tel programme pourrait valablement constituer une grande ambition européenne tout en étant conduit en coopération avec les Américains, **à condition cependant que les Européens ne se bornent pas à un rôle de « sous-traitant de l'administration américaine »** en fournissant par exemple le vaisseau de service de telle ou telle station spatiale américaine : « *ce n'est pas là une ambition élevée* ».

M. Alain Charmeau a fait valoir qu'une telle ambition était susceptible d'être étayée par un *business case* – c'est-à-dire, dans le langage des affaires, une analyse de rentabilisation – plus crédible que pour des missions d'exploration plus lointaines ; pour lui, il y a un véritable enjeu autour du transport et de la logistique spatiale : « ***c'est autour de la Terre et de la Lune que peuvent s'imaginer des business cases*** », d'autres missions ayant certes un intérêt scientifique, mais guère d'applications immédiatement envisageables. Or, comme il l'a souligné, « *entre une ambition et un programme, il faut un business case, c'est-à-dire une inscription dans une programmation, de type "loi de programmation militaire"* ».

En outre, certains observateurs font valoir **l'intérêt qu'aurait un programme de hub spatial autour de la Lune** :

– il pourrait servir **d'infrastructure d'essais** de capacités nouvelles, par exemple pour des moteurs ;

– il constituerait aussi un intéressant **point de lancement pour des missions spatiales lointaines** ;

– placé dans des orbites lointaines de la Terre, il pourrait accueillir des capacités vulnérables qu'il est utile de **mettre à l'abri des risques et des menaces appelés à s'accroître dans les orbites plus proches**, par exemple des moyens de télécommunications satellitaires militaires.

ii. Une participation au juste niveau des capacités françaises

Si, comme on l'a dit, il serait périlleux pour le maintien du rang mondial d'une puissance spatiale comme la France de ne prendre aucune part dans les grandes et ambitieuses missions qui se lancent, elle doit le faire dans une mesure compatible avec ses capacités financières. Pour M. Norbert Paluch, le « ***risque d'étouffement budgétaire*** » que pourrait induire la coopération avec la NASA sur des projets de grande ampleur et de longue haleine oblige une puissance comme la France à trouver une position d'équilibre, car :

– d'une part, dans un secteur connaissant des ruptures technologiques rapides, **il est impossible de prendre le risque de manquer une « nouvelle frontière »** ;

– mais, d'autre part, **il y a un risque d'épuisement de budgets spatiaux limités à suivre les États-Unis dans des recherches et des programmes « pharaoniques »**, que ce soit **sur le mode de la compétition**, à l'image de l'Union soviétique épuisant ses ressources dans des efforts budgétaires démesurés face à l'initiative de défense stratégique dans les années 1980, **ou sur le mode de la coopération**, si l'on en vient à couvrir des frais d'exploitation plutôt qu'à financer des développements technologiques ou des projets réellement scientifiques.

Les plans des Américains pour des missions cislunaires, puis lunaires et ensuite martiennes doivent être vus à l'aune de ce double impératif. Dans ce contexte, une politique conforme aux intérêts de la France consiste à **ajuster sa participation à la fois aux perspectives de retombées technologiques et scientifiques, dont elle pourrait bénéficier, et s'assurer que les calendriers d'avancement des projets soient compatibles avec les budgets annuels des institutions françaises.**

*b. En ne dépensant rien : établir dès à présent un cadre législatif pour la conquête commerciale de l'espace*

Même les interlocuteurs des rapporteurs les plus sceptiques sur l'exploitation des ressources naturelles exo-atmosphériques le reconnaissent : que l'on y croit ou non, dès lors que certains États prennent des positions unilatérales en la matière, **étudier les règles qui pourraient s'appliquer dans le respect de nos intérêts à ce type d'activités et se préparer à les négocier dans les enceintes internationales apparaît raisonnable.**

Pour M. Jean-Jacques Dordain, il serait même « *bon, et certainement fructueux, que la France se dote d'une législation de ce type et soutienne un écosystème économique très en amont avec la participation des industriels des ressources terrestres qui sont d'une tout autre dimension que celle des industriels spatiaux* ».

Une analogie historique est régulièrement revenue dans les travaux des rapporteurs : un parallèle avec la « ruée vers l'or » dans l'ouest américain au XIX<sup>e</sup> siècle. Or, comme le dit un aphorisme bien connu, « *dans la "ruée vers l'or", ceux qui ont le plus fait fortune ne sont pas les chercheurs d'or : ce sont les vendeurs de pelles et de pioches* ». Les rapporteurs partagent ce point de vue, et recommandent l'élaboration d'un cadre législatif pour les activités d'exploitation des ressources exo-atmosphériques.



## **PRINCIPALES RECOMMANDATIONS DES RAPPORTEURS**

### **I. ÉLABORER ET PUBLIER UNE STRATÉGIE DE DÉFENSE SPATIALE**

1. Instituer une mission de « défense spatiale » à part entière, distincte de la mission de défense aérienne, et l'assigner aux armées
2. Établir une doctrine ambitieuse de défense des intérêts français dans l'espace, prévoyant la possibilité d'y mettre en œuvre non seulement des moyens défensifs, mais aussi contre-offensifs

### **II. ÉTABLIR UNE PROGRAMMATION CAPACITAIRE EN VUE DE LA CONSOLIDATION DE NOTRE DÉFENSE SPATIALE**

3. Investir dans le renouvellement de nos capacités de surveillance de l'espace, en finançant notamment :
  - le renouvellement du système GRAVES par un système plus performant et plus résilient, comportant un système de redondance implanté en Guyane
  - la modernisation du COSMOS et la mise sur pied, à des fins de redondance, d'un second COSMOS en Nouvelle-Calédonie ou en Polynésie française
  - l'extension et l'amélioration technologique du réseau des télescopes d'observation des orbites géostationnaires
  - la modernisation des moyens de caractérisation des satellites en orbite
  - des moyens de renseignement électromagnétique à même de détecter les satellites « dormants »
4. Soutenir le programme européen EU-SST et articuler avec ce projet l'indispensable développement de capacités nationales souveraines
5. Acquérir de premières capacités d'action non-cinétique dans l'espace par des lasers de haute intensité, des moyens de brouillage ou de leurrage, ainsi que des moyens cybernétiques

6. Financer des démonstrateurs dans les domaines suivants :
  - les constellations de satellites en orbite basse
  - les véhicules spatiaux manœuvrants, tels que le Space Start, le Space Tug et le Space Rider
  - les pseudo-satellites, tels que le Stratobus et le Zéphyr
  - les lanceurs « réactifs »

### **III. DONNER UNE « INCARNATION ORGANIQUE » À DÉFENSE SPATIALE**

7. Renforcer de 200 personnels environ les effectifs employés par les armées aux activités de défense spatiale
8. Mettre sur pied une filière de formation et de gestion des ressources humaines spécialisée dans la défense spatiale
9. Créer, au sein d'une armée de l'air et de l'espace, un « grand commandement » des forces spatiales, du niveau « quatre étoiles »
10. Ériger ce commandement en « gestionnaire unique du milieu » spatial et améliorer sa coordination avec les services compétents du CNES

### **IV. ADOSSER LA DÉFENSE SPATIALE À UNE POLITIQUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE AFFERMIE**

11. Financer un effort de R&T et de R&D dans de grands champs de technologies spatiales duales, y compris pour des recherches relevant de la « *deep tech* »
12. Prendre des parts dans les projets scientifiques et technologiques les plus ambitieux, notamment en matière de conquête spatiale
13. Plaider en faveur de l'établissement, dans le droit européen, d'une règle de préférence européenne en matière de marchés spatiaux
14. Établir un cadre législatif national attractif pour les sociétés d'exploration et d'exploitation des ressources naturelles exo-atmosphériques



## EXAMEN EN COMMISSION

*La commission procède à l'examen du rapport de la mission d'information sur le secteur spatial de défense au cours de sa réunion du mardi 15 janvier 2019.*

**M. le président Jean-Jacques Bridey.** Mes chers collègues, nous voici réunis pour la première réunion de l'année 2019, ouverte à la presse et consacrée à l'examen du rapport d'information sur le secteur spatial de défense présenté par nos collègues Olivier Becht et Stéphane Trompille.

**M. Stéphane Trompille, rapporteur.** Monsieur le président, Mesdames et Messieurs, mes chers collègues, mon collègue Olivier Becht et moi-même avons l'honneur de vous présenter aujourd'hui les conclusions des travaux de la mission d'information sur le secteur spatial de défense, dont vous nous avez nommés rapporteurs le 12 septembre dernier.

Deux mois plus tôt, vous le savez, le président de la République avait appelé à l'élaboration d'une nouvelle stratégie spatiale de défense dans la foulée de la promulgation de la loi de programmation militaire, le 13 juillet dernier. À cet appel, le ministère des Armées a mis en place un groupe de travail et les autres ministères intéressés ont conduit, de leur côté, leurs propres réflexions. Le groupe de travail du ministère des Armées a remis un rapport à la ministre à la fin du mois de décembre, et des travaux interministériels doivent se poursuivre en vue d'arbitrages annoncés pour le premier trimestre 2019. Nous nous sommes donc attachés à conduire nos travaux « au pas de course », si je puis dire, afin que notre rapport puisse constituer une contribution aux réflexions préalables à l'élaboration d'une nouvelle stratégie spatiale de défense.

**M. Olivier Becht, rapporteur.** Nous nous sommes en effet attachés à l'étude des enjeux stratégiques du secteur spatial et, pour ce faire, nous avons entendu l'ensemble des autorités militaires concernées ainsi que le Centre national des études spatiales (CNES), bien évidemment, et l'Office national d'études et de recherches aérospatiales (ONERA), grand centre de recherche public compétent en matière spatiale. Nous avons également reçu les trois grands industriels du secteur : Ariane Group pour les lanceurs, Thales Alenia Space et Airbus Defence & Space pour les satellites et autres objets orbitaux. Nous avons aussi entendu de « grands témoins » de la politique spatiale. Nous nous sommes enfin rendus sur le terrain, au centre spatial de Toulouse, sur les sites de production et de R&D de Thales à Cannes et d'Airbus à Toulouse, au centre opérationnel de surveillance militaire des objets spatiaux, le COSMOS, que possède l'armée de l'air sur la base de Lyon-Mont-Verdun. Nous nous sommes enfin rendus à Washington, où nous avons pu rencontrer les acteurs de la politique spatiale de défense au Congrès, à la Maison-Blanche et au Pentagone ; nous nous y sommes aussi entretenus avec les

groupements industriels concernés ainsi qu’avec des universitaires et des *think tanks*. C’est donc un tour d’horizon assez complet que nous avons réussi à entreprendre en trois mois.

**M. Stéphane Trompille, rapporteur.** Nous nous sommes ainsi efforcés de dresser d’abord un bilan de ce que sont aujourd’hui notre politique spatiale et notre secteur spatial de défense, c’est-à-dire les capacités spatiales dont disposent les armées et la BITD à laquelle s’adosent ces capacités.

**M. Olivier Becht, rapporteur.** Nombreux sont ceux qui ont déjà entendu parler du *New Space*. Ce n’est pas simplement un slogan destiné aux investisseurs en capital-risque : c’est aussi une réalité, peut-être pas une véritable « révolution » technologique, mais au moins une révolution industrielle. Le *New Space* a ses grandes figures, comme la société Space X de M. Elon Musk ou l’entreprise Blue Origin de M. Jeff Bezos, mais d’autres entreprises se sont lancées dans ces développements en matière spatiale, y compris en Chine. Nous nous sommes donc attachés à étudier les conséquences de ces évolutions technologiques pour notre secteur spatial de défense. Avec l’usage de plus en plus répandu des technologies spatiales, nos armées deviennent largement dépendantes des moyens spatiaux, opérant de plus en plus au moyen de ce que l’on appelle des « bulles numériques » et devenant par conséquent de plus en plus vulnérables aux risques qui pèsent sur ces moyens.

**M. Stéphane Trompille, rapporteur.** De tels risques, il en existe, qui sont de surcroît de plus en plus prégnants. Nous avons en effet analysé les évolutions du contexte stratégique dans l’espace. Elles sont marquées à la fois par une croissance des risques, d’origine naturelle ou intentionnelle, et par l’émergence de tensions entre les puissances. Certains risques peuvent ainsi découler de la présence de débris dans l’espace, qui résultent de collisions passées ou d’opérations de destruction de satellites en orbite, notamment par la Chine. C’est ce contexte stratégique qui rend très nécessaire l’élaboration et la mise en œuvre d’une véritable stratégie, c’est-à-dire avant tout d’une doctrine de défense, dont doit se déduire une programmation capacitaire, pour enfin entraîner les ajustements organiques qui seraient nécessaires.

**M. Olivier Becht, rapporteur.** Enfin, nous formulons des propositions concrètes pour cette stratégie, c’est-à-dire, en premier lieu, pour la doctrine à élaborer, et à ce titre nous présentons deux principales recommandations : d’une part, que la défense spatiale soit érigée en mission des armées à part entière, et plus seulement en volet – aujourd’hui un peu annexe – de la défense aérienne et, d’autre part, que la France ne soit pas la dernière puissance spatiale à se doter de moyens d’action dans l’espace, sous certaines conditions.

De façon cohérente avec ces orientations de doctrine, nous plaidons en faveur d’une programmation capacitaire à la hauteur des enjeux. Il ne s’agit pas d’une « liste au Père Noël » car, comme vous le verrez, nous avons tenu à rester réalistes compte tenu du contexte budgétaire. Il s’agit, et c’est là notre priorité

« numéro une », de moderniser nos moyens de surveillance de l'espace, si possible en s'adossant sur un programme européen lancé par la Commission. Il s'agit aussi, seconde priorité, de développer des moyens d'action dans l'espace, d'abord des moyens simples, comme des lasers opérés depuis le sol, et ensuite, à titre de démonstrateurs, des satellites et autres véhicules spatiaux plus innovants, comme les navettes automatiques.

**M. Stéphane Trompille, rapporteur.** C'est ensuite au prisme de ce que nous préconisons en matière de doctrine et de capacités de façon réaliste, comme le soulignait mon collègue Olivier Becht, que nous avons étudié la question de ce que nous appelons l'« incarnation organique » de la défense spatiale. En termes clairs : *Space Force or not Space Force, that is the question !* Mais pas de suspense : pour nous, l'heure n'est pas venue de créer une « armée de l'espace » à l'instar de ce qu'envisagent les États-Unis, mais plutôt un grand commandement de l'armée de l'air, par exemple sous l'autorité d'un « quatre étoiles ».

**M. Olivier Becht, rapporteur.** Enfin, nous formulons des recommandations de politique industrielle, basées sur les intéressantes « feuilles de route technologiques » de l'ONERA. Tout l'enjeu est, pour la France, de conserver son rang dans l'industrie spatiale, y compris dans les développements les plus ambitieux.

**M. Stéphane Trompille, rapporteur.** Dans le fond, on pourrait nous demander : mais pourquoi travailler sur l'espace ? N'est-ce pas là un luxe, un sujet bien intéressant en soi, mais fort éloigné des nécessités immédiates de notre époque ?

Ce serait ignorer combien les services spatiaux sont omniprésents dans nombre d'activités d'importance vitale – si ce n'est dans toutes – dans une société technologique comme la nôtre. Prenons l'exemple des services financiers : ils reposent sur le GPS, et bientôt Galileo, pour leur synchronisation ; plus de satellites signifie : plus d'argent. Prenons l'exemple des transports : aériens, terrestres ou maritimes, ils reposent eux aussi sur le GPS. Quant aux télécommunications, outre le fait que nos *smartphones* utilisent le même système, on rappellera que depuis bien longtemps, la télévision passe aussi par satellite, et que l'accès à internet par des moyens satellitaires se développe, ne serait-ce que dans les zones « blanches ». Dernier exemple : la météorologie, si importante pour nombre d'activités comme le tourisme ou l'agriculture.

**M. Olivier Becht, rapporteur.** Pour les armées également, les moyens spatiaux ont une importance cruciale pour voir – je pense là à nos moyens spatiaux d'observation de la Terre –, pour entendre – pensons à nos moyens de renseignement électromagnétiques – et même pour guider certaines armes et pour transmettre les communications.

Lorsque, il y a quelques mois, mon collègue Thomas Gassilloud et moi-même vous présentions les conclusions de notre mission d'information sur les

enjeux de la numérisation des armées, nous vous avons présenté le schéma de ce qu'est une « bulle numérique », au sein de « systèmes de systèmes » tels que le SCAF ou SCORPION. Dans ce type d'architecture des forces, qui tend à s'imposer dans tous les milieux, la transmission des informations est cruciale et passe nécessairement par des moyens satellitaires. Dès lors, on imagine aisément les conséquences d'une éventuelle neutralisation de nos satellites, civils comme militaires. C'est pourquoi le secteur spatial revêt plus que jamais des enjeux de souveraineté, tant nationale qu'européenne.

**M. Stéphane Trompille, rapporteur.** J'en viens à l'état des lieux proprement dit. Comme le disait mon collègue co-rapporteur, nos armées ont d'ores et déjà développé des capacités spatiales complètes et crédibles, dont il nous faut souligner une spécificité : la France, peut-être davantage que d'autres puissances spatiales, a trouvé une organisation duale particulièrement efficiente.

Ces capacités spatiales, quelles sont-elles ? Commençons par nos satellites. Les armées en opèrent onze et ont accès à des capacités allemandes et italiennes d'imagerie par radar dans le cadre de partenariats, ainsi qu'au GPS et à des contrats commerciaux de télécommunications pour des applications non-critiques.

Il faut aussi penser l'accès à l'espace comme une capacité présentant un sérieux enjeu de souveraineté. À cet égard, les programmes Ariane et la possession du centre spatial guyanais, à Kourou, sont la garantie d'un accès autonome à l'espace.

Il faut enfin souligner que nos capacités spatiales ne seraient pas complètes sans un système de surveillance de l'espace. Il s'agit, pour faire simple, de repérer les mouvements en orbite, de les « caractériser », c'est-à-dire de les comprendre, afin de pouvoir prendre des mesures efficaces le cas échéant. C'est cette capacité qui a permis de détecter les manœuvres du satellite butineur Luch-Olymp autour de notre satellite Athena-Fidus. Pour les orbites géostationnaires, la surveillance repose sur un réseau de télescopes, c'est-à-dire sur un droit de tirage du CNES sur les télescopes TAROT du CNRS et sur l'achat de données produites par les télescopes GeoTracker d'Ariane Group. Pour les orbites basses, la France utilise les données d'un catalogue publié par les États-Unis mais on ne peut pas s'y fier totalement : il omet certains appareils américains et certaines données orbitales sont particulièrement floues... C'est pourquoi la France a développé le système de radar GRAVES. Signe de l'importance cruciale de cette capacité : jusqu'à l'entrée en service de GRAVES, les Américains rendaient public ce qui concernait nos satellites militaires ; avec GRAVES, la France étant en position de faire de même pour les satellites américains, les États-Unis ont cessé ces publications.

La LPM a d'ailleurs prévu le renouvellement de ces capacités, mais nous avons eu l'occasion d'en discuter longuement au printemps dernier, je n'y reviens donc pas.

**M. Olivier Becht, rapporteur.** Nous tenons en revanche à insister sur le caractère très dual de notre secteur spatial de défense. C'est par souci d'efficacité que l'organisation actuelle de ce secteur exploite au mieux les synergies entre les acteurs civils et les acteurs militaires de l'espace.

Ces synergies sont rendues possibles, d'abord, par la profonde dualité des technologies en jeu. Observer l'espace pour un opérateur civil ou militaire, du point de vue technologique, n'est pas vraiment différent. De même pour le lancement des satellites : les lanceurs sont les mêmes, que les satellites mis en orbite soient civils ou militaires. De même, encore, pour les télécommunications satellitaires. Ainsi, la R&D et l'industrie sont largement duales et, de la même façon, certains satellites ont un usage dual : tel est le cas, aujourd'hui, de Pléiades, qui est utilisé à la fois par les armées et par Airbus, qui en commercialise certaines applications.

C'est surtout le rôle du CNES dans le secteur spatial de défense qui marque le caractère très dual de l'organisation française. En effet, le CNES concourt à la plupart des activités spatiales de défense. Ainsi, dans la conduite des programmes d'armement, soit il apporte à la DGA son expertise, soit il assure la maîtrise d'ouvrage des programmes par délégation de celle-ci ; il lui arrive aussi d'être le maître d'œuvre de certains segments sensibles de certains programmes. Ce sont en outre les infrastructures du CNES qui servent au lancement des satellites militaires. Ses compétences sont aussi mobilisées pour la surveillance de l'espace : c'est son centre d'orbitographie opérationnelle qui traite les informations fournies par les États-Unis, et ce n'est pas une mince affaire, si l'on en juge par le nombre d'alertes de risques de collisions : 2,5 millions par an. De plus, la surveillance des orbites géostationnaires repose sur le droit de tirage que possède le CNES sur les télescopes du CNRS, basés notamment en métropole et au Chili. Et surtout, c'est le CNES qui exploite les satellites militaires en orbite basse, les plus complexes à piloter, en traitant pour le compte des armées les demandes d'acquisition de renseignement transmises par celles-ci. En somme, en s'appuyant largement sur le CNES, le secteur spatial de défense est organisé d'une façon duale, que nous trouvons ce faisant efficace.

**M. Stéphane Trompille, rapporteur.** Enfin, toute cette organisation est d'autant plus forte qu'elle s'adosse sur une base industrielle et technologique de premier rang mondial, et sans équivalent en Europe. Cela commence par la recherche amont, domaine dans lequel l'ONERA est reconnue pour son excellence.

De même, la France compte trois grands industriels du secteur spatial : Thales Alenia Space, Airbus Defence & Space et Ariane Group, qui possèdent une dimension européenne tout en ayant la plus grande part de leur activité en France. En tout, cela représente 16 000 emplois et 4,6 milliards d'euros de chiffre d'affaires en France.

Pourtant, ce n'est pas de notre base industrielle et technologique spatiale qu'est venu le grand tournant industriel du secteur dans les dernières années : ce que l'on appelle le *New Space*. Je ne m'étendrais pas, ici, sur l'analyse de ce mouvement technologique et industriel. Retenons qu'il a une apparence : des milliardaires américains et des fonds d'investissement qui se tournent vers le secteur spatial pour diversifier leur activité et prétendent relancer la conquête spatiale. Ainsi, par exemple, M. Jeff Bezos, fondateur d'Amazon et première fortune du monde, veut ouvrir l'espace au tourisme ; M. Elon Musk, créateur de Paypal et de Tesla puis de Space X, veut coloniser Mars. Le *New Space*, cependant, a une réalité : l'application de méthodes industrielles nouvelles pour assembler et utiliser des briques technologiques qui, en soi, n'ont rien de technologies de rupture. Et ce, précisons-le, avec le soutien des autorités publiques américaines : c'est la NASA qui a fourni à Space X les briques du moteur réutilisable qui fait le succès de son lanceur Falcon 9, et les prix facturés par Space X au gouvernement américain pour ses lancements peuvent légitimement être vus comme une subvention à peine déguisée.

Dans la mouvance de ces charismatiques acteurs et de leurs ambitieux projets de conquête spatiale, est née aux États-Unis une vague d'innovation dans le secteur spatial, avec les apports du numérique et des techniques de fabrication en série à un secteur industriel qui fonctionnait jusqu'alors en artisanat *high-tech*. Inévitablement, ce mouvement a pour effet de rebattre les cartes dans le secteur spatial. Pour nos industriels français, c'est une concurrence nouvelle ; non qu'ils se soient endormis sur leurs lauriers, si l'on peut dire, mais force est de constater qu'ils se trouvent pour certains en difficulté.

**M. Olivier Becht, rapporteur.** Le premier enjeu, en la matière, tient à l'autonomie d'accès à l'espace. Pour mettre des satellites en orbite et défendre nos moyens spatiaux, encore faut-il pouvoir s'en remettre à des lanceurs nationaux ou européens. Or les coûts de lancement par kilo mis en orbite sont aujourd'hui plus élevés pour les lanceurs européens que pour leurs concurrents américains. L'Agence spatiale européenne n'a, semble-t-il, pas cru à la réutilisation des lanceurs, qui est aujourd'hui la clé du succès de Space X et qui ne manquera pas d'être développé par d'autres firmes. Toute la question, aujourd'hui, consiste donc à savoir comment les lanceurs européens peuvent regagner en compétitivité. Mon collègue et moi-même pensons, à titre personnel, que les choix faits en ce sens par Ariane Group sont les bons ; dans notre esprit, il n'est pas question de les remettre en cause. Certains se demandent s'il faut abandonner Ariane 6 au profit d'une « Ariane next » qui comporterait davantage d'équipements réutilisables. À nos yeux, le temps nécessaire au développement d'une telle Ariane next risque cependant d'être trop long pour ne pas exposer les Européens au risque de se trouver dépourvu de lanceur. Le risque est bien de rater une marche dans le développement de nos technologies. Mieux vaut travailler à la réduction des coûts de lancement avec Ariane 6, en y incrémentant des technologies à même de la rapprocher des nouveaux standards établis par les Américains.

**M. Stéphane Trompille, rapporteur.** De façon générale, le terme de « *New Space* » a beau être un label commode pour la communication, il désigne bien une révolution industrielle dont les conséquences ne se limitent pas aux aspects de concurrence industrielle. En effet, il a permis d'abaisser les barrières technologiques qui, jusqu'alors, réservaient les infrastructures et les services spatiaux à un nombre restreint de grandes puissances. Et, ce, pas seulement pour des applications civiles ou amicales.

Il en résulte une véritable prolifération des moyens spatiaux. Quelques données en témoignent : aujourd'hui, 60 à 70 des 197 États membres de l'ONU disposent d'au moins un satellite en orbite, et une quarantaine de nations possèdent ou sont en passe de posséder un programme de lanceurs. De même, la croissance du nombre de satellites est exponentielle : on compte aujourd'hui 1 500 engins actifs, et leur nombre devrait atteindre au moins 8 000 dans dix ans. Les orbites s'encombrent également de débris, qui se comptent en dizaines de milliers pour les objets de plus de dix centimètres de diamètre, et en centaines de milliers pour les objets de plus d'un centimètre, qui peuvent suffire à causer de graves dommages à un satellite si l'on tient compte du fait qu'ils se déplacent à 27 000 kilomètres par heure.

**M. Olivier Becht, rapporteur.** C'est une double révolution qui s'opère. D'une part, la démocratisation des technologies spatiales ouvre l'espace à un nombre croissant d'acteurs, étatiques ou non ; il peut s'agir d'entreprises privées ou de toutes sortes de réseaux. D'autre part, la miniaturisation des satellites constitue une révolution en soi. Alors que les satellites étaient traditionnellement des objets de plusieurs mètres, on développe aujourd'hui des engins de petite taille, comme ces *cubesats* dont une face n'est guère plus grande qu'un de nos *smartphones*. De tels satellites sont par nature plus difficiles à détecter, et ils ne tarderont pas à devenir furtifs. Ces propriétés peuvent être avantageusement exploitées pour développer des satellites de diverses vocations, pacifiques pour certaines, mais plus militaires ou plus offensives pour d'autres. Ils pourraient ainsi servir à manœuvrer, à observer, à brouiller voire constituer ce que l'on appelle des « mines de l'espace », c'est-à-dire des satellites porteurs de charges explosives à actionner au contact d'un autre satellite. Certes, de telles actions créent des débris dans l'espace, ce qui accroît les risques de dommages y compris collatéraux ; aucune puissance spatiale n'y a intérêt. Néanmoins, un État qui aurait des moyens d'accès à l'espace sans être pour autant posséder des moyens spatiaux suffisamment développés pour en être très dépendant serait moins vulnérable que de grandes puissances spatiales à la multiplication des débris ; la perspective de voir le nombre de ceux-ci s'accroître ne le retiendrait pas d'agir.

Aussi faut-il bien se l'avouer : l'espace est d'ores et déjà un lieu de confrontation. La militarisation de l'espace n'a d'ailleurs rien de nouveau ; elle a commencé dès le XX<sup>e</sup> siècle. Le droit international a certes interdit le placement d'armes de destruction massives en orbite, mais il n'a jamais prohibé leur transit dans l'espace. De façon générale, différents satellites ont depuis longtemps un usage militaire.

Ce à quoi nous assistons aujourd'hui est un peu différent : il s'agit d'une arsenalisation de l'espace. Il s'agit de placer dans l'espace des moyens offensifs, des armes. Il peut s'agir de satellites ayant des capacités d'espionnage, de prise de contrôle et autres actes qui ont un caractère militaire. Si le droit international ne les interdit pas, de tels actes n'en constituent pas moins une menace pour notre souveraineté. Il convient donc de réagir.

**M. Stéphane Trompille, rapporteur.** On peut ainsi s'interroger, par exemple, sur l'objet du X37 américain. Cette navette circule en orbite basse, navigue entre les orbites, largue et récupère des objets, et s'approche d'autres engins orbitaux. Les autorités américaines sont assez silencieuses sur la mission de cet engin ; à écouter certains discours officiels, il s'agirait quasiment d'un satellite comme un autre. On ne peut donc qu'échafauder des hypothèses sur son usage, et il ne faut pas être naïf : ce type de capacités peut contribuer à l'arsenalisation de l'espace.

Nous avons pu observer, d'ailleurs, que le contexte stratégique s'y prête, tant il est marqué par une recrudescence des tensions. Les tentatives soutenues par l'Union européenne en vue de faire adopter un « code de conduite » pour les opérations spatiales ont échoué, face au refus des Russes, des Chinois et des Américains.

Nous avons pu constater chez ces derniers que leur but stratégique assumé consiste en une « domination » de l'espace face à deux adversaires clairement désignés : la Russie et la Chine. Face à leurs moyens spatiaux, un engin comme le X37 peut permettre beaucoup de choses.

**M. Olivier Becht, rapporteur.** J'ajoute que le *New Space* ouvre également de considérables perspectives de conquête spatiale, qui ne sont plus obligatoirement le fait des États. La conquête de Mars, un établissement permanent sur la Lune, des usines en orbite, des stations-relais dans l'espace, ou l'exploitation de ressources naturelles exo-atmosphériques : les projets ne manquent pas.

Est-ce de la science-fiction ? Y a-t-il là une part de réalisme ? Les avis des experts que nous avons interrogés sont très partagés : certains n'y croient pas du tout, d'autres constatent que les progrès technologiques sont aujourd'hui très rapides et que l'enjeu est important. Il y a par exemple sur la Lune de l'hélium 3, qui sera crucial pour la maîtrise de la fusion nucléaire. Ce sont ainsi des sujets d'importance, dont il convient de se préoccuper car l'accès aux ressources participe de la compétitivité économique d'un État.

En outre, dès lors que sont en jeu des questions d'accès aux ressources, viennent à se poser des questions de sécurisation desdites ressources et de leur exploitation ; la question présente donc des aspects militaires. Rappelons-nous que dans la conquête des Amériques et de leur or, Colomb et Vespucci n'ont pas tardé à être suivis de Cortés...



De la même manière, ceux qui doutent de la faisabilité des projets d'exploitation des ressources exo-atmosphériques doivent néanmoins tenir compte des progrès industriels que peuvent susciter ces projets. Ils constituent en soi un défi industriel. Quand bien même on ne parviendrait pas de sitôt à s'établir de façon permanente sur la Lune ou à exploiter des ressources naturelles exo-atmosphériques, les efforts en ce sens auront des retombées technologiques et industrielles intéressantes en elles-mêmes. Il suffit pour s'en convaincre de se souvenir des retombées technologiques du programme Apollo pour l'économie américaine dans son ensemble. Il ne faut pas oublier non plus que lors de toute « ruée vers l'or », ce ne sont pas les chercheurs d'or qui ont le plus fait fortune, mais ceux qui leur ont vendu des pelles et des pioches... À cet égard, je ne crois pas que les grands projets de nos amis du *New Space*, Space X et Blue Origin parmi d'autres, ne poursuivent que des buts philanthropiques. C'est pourquoi mon collègue Stéphane Trompille et moi-même jugeons nécessaire que la France s'implique dans les activités de R&D auxquelles conduisent ces grandes ambitions.

**M. Stéphane Trompille, rapporteur.** Toutes ces raisons nous conduisent à plaider en faveur de l'élaboration d'une stratégie spatiale que nous qualifions de réaliste et d'ambitieuse – l'un n'empêche pas l'autre. Les États-Unis sont d'ailleurs en train d'élaborer une stratégie de défense spatiale, et l'aperçu que nous avons eu de leurs réflexions ne permet guère d'espérer qu'elle soit profondément pacifiste.

Pour être viable compte tenu de nos moyens, une telle stratégie doit être à la fois duale et partenariale. Duale, parce que les infrastructures et les compétences requises pour la défense spatiale sont rares ; nous ne pensons donc pas qu'il faille développer un « CNES militaire » au sein des armées, ou isoler des éléments militaires du CNES au sein d'une direction des applications militaires. Renoncer à la dualité, ce serait créer des redondances et perdre en synergies.

**M. Olivier Becht, rapporteur.** Notre stratégie de défense doit aussi exploiter au mieux les possibilités de partenariat que nous sommes capables d'établir. Nous pensons évidemment avant tout à l'Europe, qui constitue depuis plusieurs décennies le cadre dans lequel nous réussissons à relever les défis qui supposent une certaine taille critique. La Commission propose d'accroître significativement ses investissements dans le secteur spatial ; elle envisage notamment de financer un réseau européen de surveillance de l'espace, ce qui peut ne pas heurter les sensibilités politiques de nos partenaires en mettant l'accent sur la prévention des risques de collisions.

En matière de partenariats, nous pensons aussi aux États-Unis, avec lesquels nous coopérons déjà et qui sont intéressés par un approfondissement des coopérations, notamment en vue d'améliorer la résilience de leurs capacités. Nous pensons également à la Russie. Si celle-ci n'est pas ce qu'était l'Union soviétique, elle demeure une grande puissance spatiale et nous avons encore des partenariats

avec elle, ne serait-ce qu'en utilisant ses lanceurs Soyouz pour la mise en orbite de nos satellites et le ravitaillement de la station spatiale internationale.

**M. Stéphane Trompille, rapporteur.** Pour son aspect national, nous considérons qu'une stratégie spatiale doit se fonder avant tout sur une doctrine de défense spatiale. En la matière, nous ne voyons pas comment ne pas prendre acte de l'accroissement des tensions et des risques dans l'espace.

Une doctrine de défense spatiale réaliste ne peut pas écarter la possibilité d'action contre-offensive dans l'espace, de préférence non-cinétique, c'est-à-dire propre à ne pas créer de dangereux débris spatiaux. Des moyens de brouillage, de détournement cybernétique ou d'aveuglement par laser de haute puissance sont envisageables.

**M. Olivier Becht, rapporteur.** D'une telle doctrine découle une programmation capacitaire. À nos yeux, la priorité « numéro un » tient évidemment à la surveillance de l'espace. Il s'agit de savoir à tout moment quels moyens sont déployés dans l'espace, où ils vont, à qui ils appartiennent et ce qu'ils font.

Il faut pour cela des moyens. La France est l'un des premiers pays à s'en être dotés, grâce à l'ONERA. Il s'agit du radar GRAVES, qui nous offre déjà une bonne vision de l'espace mais celle-ci devient insuffisante pour détecter les satellites miniatures, tels les *cubesats*, dont la détection devient un enjeu important. Nous proposons donc de renouveler cette capacité et d'en assurer la résilience par une organisation redondante, en installant non seulement un nouveau système GRAVES en métropole mais aussi un autre en Guyane, afin d'étendre la couverture géographique du système d'observation des orbites basses.

En ce qui concerne les orbites géostationnaires, il faut là aussi étendre la couverture des orbites par nos moyens d'observation. Ces moyens reposent sur un réseau de télescopes aujourd'hui basés notamment en métropole, à La Réunion et au Chili, qui ne couvrent aujourd'hui que 70 % des orbites géostationnaires. Il faut donc investir dans deux ou trois nouveaux télescopes et en installer dans nos territoires du Pacifique. Cela n'aurait pas un coût exorbitant, car un télescope ne coûte que 300 000 euros environ. Un investissement supplémentaire de quelques millions d'euros permettrait en outre d'améliorer les capacités de détection en exploitant des technologies spectrales, ce qui nous paraît également indispensable.

En matière de surveillance de l'espace, il serait également intéressant de poursuivre le développement d'un système d'alerte avancée entamé avec les démonstrateurs Spirale mais interrompu. Une telle capacité doit permettre de détecter les départs de missiles balistiques afin de les abattre en vol avant qu'ils atteignent leurs cibles. Les acquis du programme Spirale peuvent utilement être mis à profit.

À nos yeux, ces enjeux de souveraineté sont tels, que la France doit – je dis bien : doit – conserver une capacité autonome, quitte à en fournir le service

aux Européens à titre de contribution française à un réseau européen de surveillance de l'espace.

**M. Stéphane Trompille, rapporteur.** En plus de cet investissement majeur, il nous faudra investir dans certains moyens d'action dans l'espace. Dans un premier temps, les moyens de brouillage, de cyberdéfense et d'aveuglement par laser nous semblent suffisants. Comme je le disais, la dépense n'est pas considérable.

Dans le même souci de demeurer réalistes, nous considérons que d'autres moyens d'action dans l'espace peuvent être développés, dans un premier temps, à titre de démonstrateurs. Nous pensons en cela à des constellations de nano-satellites, peu coûteux, dont une constellation pourrait offrir des possibilités duales intéressantes en matière d'observation. En outre, face au X37 américain, nous estimons qu'il faut soutenir le développement d'une ou plusieurs navettes européennes, notamment *via* l'Agence spatiale européenne. Trois projets sont déjà en cours de développement. Deux concernent les orbites basses : le *Space Start* de Thales Alenia Space et le *Space Rider* de sa branche italienne, déjà soutenu par l'Agence ; un autre concerne les orbites géostationnaires : le *Space Tug* d'Airbus. Les techniques de rendez-vous dans l'espace que pourraient mettre en œuvre de tels engins peuvent avoir d'intéressantes applications pour la maintenance de nos satellites ou pour l'action dans l'espace.

Par ailleurs, les pseudo-satellites semblent prometteurs. Le ballon dirigeable Stratobus de Thales Alenia Space ou l'avion solaire Zéphyr d'Airbus, tous deux en cours de développement, ont vocation à demeurer en place pendant plusieurs mois à 20 kilomètres d'altitude. Leur permanence est un atout pour l'emport de tous types de charges utiles, notamment de télécommunications et d'observation.

**M. Olivier Becht, rapporteur.** Enfin, en guise de conclusion, nous formulons des recommandations de politique industrielle pour le secteur spatial. En effet, le contexte industriel est marqué par la concurrence américaine, largement subventionnée par le gouvernement américain *via* la défense.

En plus de préconisations relatives au soutien de la R&D, nous formulons également des recommandations peu coûteuses par nature, car relevant de la législation. En matière d'exploitation des ressources extra-atmosphériques, les États-Unis comme le Luxembourg ont adopté des législations relatives à la propriété des ressources naturelles tirées de l'espace, attractives pour les futurs « orpailleurs de l'espace ». Ces possibilités apparaissent certainement comme lointaines, mais là encore, il s'agit avant tout de vendre pelles et pioches.

Voici, Monsieur le président, Mesdames et Messieurs, mes chers collègues, les grandes orientations de notre rapport. S'il me fallait les résumer en quelques mots, je dirais que la guerre des étoiles reste de la science-fiction mais que la guerre dans les étoiles a commencé, que la France doit être en mesure de la

mener par des actions non seulement défensives mais aussi offensives. Il en va de sa crédibilité et, en réalité, de sa souveraineté.

*(Applaudissements sur tous les bancs.)*

**M. le président Jean-Jacques Bridey.** Merci, Messieurs les rapporteurs, pour la clarté et la précision de votre exposé. Nous allons en venir aux questions mais, auparavant, je cède la parole à M. Lachaud, en tant que membre de la mission d'information.

**M. Bastien Lachaud.** Avant tout, je tenais à féliciter les rapporteurs pour leur travail. Le rapport comprendra une contribution traduisant la vision du groupe La France insoumise sur ces questions, dont je me propose de vous livrer ici les principaux éléments. Annoncée il y a quelques mois, l'initiative du Gouvernement visant à établir une véritable stratégie pour l'espace est louable, dans la mesure où l'espace intéresse particulièrement la défense de la souveraineté des Françaises et des Français et constitue un facteur d'entraînement pour l'industrie, tant civile que militaire. Néanmoins, le groupe auquel j'appartiens souhaite rappeler des principes qui nous paraissent essentiels, sur lesquels le Gouvernement ne doit, d'après nous, pas transiger et qui constituent une base pour établir une orientation ambitieuse visant à faire de l'espace une nouvelle frontière de l'humanité, et prenant en compte les enjeux humains et écologiques.

Selon nous, la première des préoccupations de notre pays doit être d'éviter que l'espace ne devienne un nouveau champ de confrontation. L'attitude des grandes puissances spatiales ces derniers temps ne devrait pas conduire à renoncer à cet objectif. L'espace est un symbole de paix et de coopération entre les nations et doit le demeurer. Je citerai deux exemples : premièrement, la présence permanente de l'homme dans l'espace, par le biais de la station spatiale internationale, doit être renouvelée ; deuxièmement, la conduite d'un grand projet de dépollution de l'espace, aujourd'hui nécessaire comme vous l'avez, du reste, parfaitement exposé. Pour ce faire, la France doit faire preuve de circonspection, et ne doit ni stigmatiser, a priori, telle ou telle puissance, ni considérer que tel État serait, par essence, un ennemi, quand un autre serait, à coup sûr, un allié. Je pense notamment aux États-Unis, la mise en place du système GRAVES ayant ainsi largement démontré qu'il ne fallait faire preuve d'aucune naïveté à leur égard. Dès lors, toute démarche visant à renforcer notre autonomie en la matière doit être poursuivie. En ce sens, la réduction de notre dépendance aux composants industriels d'origine étrangère me paraît être une très bonne chose.

En outre, il nous faut refuser l'arsenalisation de l'espace et engager une action diplomatique constante en ce sens. Le meilleur moyen pour y parvenir est de veiller au maintien, au respect et au renforcement de la réglementation internationale. Osons aller plus loin : j'irais même jusqu'à dire que la signature d'un nouveau « Traité de l'espace », plus ambitieux que celui de 1967, doit être un objectif de notre diplomatie et, ce, quelles que soient les difficultés qui s'y attachent. Je ne reviendrai pas sur le fait que l'espace ne doit pas être une sorte

d'Eldorado du XXI<sup>e</sup> siècle, dont la conquête et la possession occasionneraient des violences et des désastres. L'espace doit rester une *res nullius* et nous nous devons d'empêcher l'appropriation des ressources spatiales : l'espace ne doit pas être un objet de conquête mais d'exploration. À l'échelle de l'espèce humaine et l'aune de l'histoire universelle de l'humanité, c'est bien l'intérêt général humain qui doit prévaloir en la matière. Ceci m'amène à souligner l'enjeu écologique, alors même que nous ne parlons pas suffisamment du rôle essentiel de l'espace dans la lutte contre le réchauffement climatique et son observation. J'ai déjà eu l'occasion de mentionner la question de la dépollution de l'espace et, plus largement, ce qui est vrai dans le domaine écologique l'est également en matière économique. La plupart des personnes auditionnées par la mission d'information ont souligné combien le *New Space*, trop souvent présenté comme une révolution trouvant son origine dans la libre entreprise, est en réalité le fruit de l'interventionnisme étatique, notamment américain. Aussi le groupe La France insoumise redit-il ici son opposition aux privatisations qui ont eu lieu dans le secteur spatial ces dernières années ainsi qu'aux transformations qui ont affecté le financement de la recherche depuis 2008, par le choix d'opérer des financements de projets, au détriment du soutien à la recherche fondamentale. Pourtant, chacun sait que les découvertes dites « de ruptures » sont le fruit de cette dernière.

J'en viens à présent à la question de la gouvernance. Là aussi, force est de constater que l'idéologie conduit parfois à des aberrations. Ainsi, si certains se félicitent de voir augmenter le budget de la Commission européenne dédié à l'espace, il s'agit en réalité d'un doublon des financements de l'Agence spatiale européenne. De plus, le principe de « retour industriel » qui prévaut dans ce type de programme conduit à subventionner des industries nationales immatures, au détriment de la crédibilité et de l'efficacité des projets conduits au niveau européen. Les déboires de nombre d'entre eux – pensons à Galileo – devraient servir d'avertissements. L'Agence spatiale européenne est, au contraire, le symbole de l'efficacité, au travers de partenariats choisis, autour de nations volontaires désireuses d'avancer ensemble. Mon groupe regrette d'ailleurs que la France soit si naïve, notamment face à l'Allemagne, qui bafoue pourtant les accords de Schwerin.

Enfin, d'un point de vue strictement militaire, le groupe La France insoumise souhaite renouveler ses réserves face à ce que nous pourrions qualifier de « fuite en avant technologique ». Les armées françaises sont historiquement caractérisées par leur capacité à opérer en articulant rusticité et maîtrise des technologies les plus avancées. La maîtrise des technologies spatiales et les possibilités qu'elles offrent aux armées créent autant de vulnérabilités ; il faut mesurer systématiquement leur portée et évaluer l'utilité de ces technologies à cette aune, ainsi qu'évaluer les moyens de remédier aux éventuelles défaillances qu'elles pourraient provoquer. La dépendance de plus en plus certaine de notre dissuasion aux technologies spatiales ne peut que nous conforter en ce sens.

**M. Jean-Marie Fiévet.** Toutes mes félicitations aux rapporteurs pour ce travail passionnant, qui traite de problématiques contemporaines mais également

de l'avenir des conflits et des relations interétatiques. Dans cette course aux étoiles, vous avez indiqué que la réutilisation des lanceurs n'était pas d'actualité, alors que cette avancée technologique serait fort bienvenue, tant sur le plan financier qu'écologique. Elle est, par ailleurs, attendue de longue date. Où en est la recherche française à ce sujet ?

**M. Charles de la Verpillière.** À mon tour, je souhaite féliciter nos deux rapporteurs pour leur exposé passionnant. Permettez-moi de vous interroger sur nos partenaires européens. Selon vous, au sein de l'Union européenne, parmi laquelle je compte la Grande-Bretagne, quels sont les États qui vous paraissent être les plus intéressés par le spatial, et pouvoir constituer pour la France des partenaires industriels, financiers ou encore militaires ?

**M. Yannick Favennec Becot.** Bravo à nos deux rapporteurs pour ce brillant exposé qui m'inspire une question : selon vous, la lutte contre le terrorisme, à travers un programme spatial adapté, ne demanderait-elle pas le financement par la France de satellites conçus, lancés et exploités par des pays africains ? Si l'on y prend garde, une telle place pourrait être prise par certaines grandes puissances – je pense à la Chine ou à la Russie.

**M. André Chassaigne.** Comme mes collègues, j'ai apprécié votre présentation, même s'il nous faudra pouvoir lire votre rapport en son entier après avoir entendu votre exposé. Que pouvez-vous nous dire du lien entre nos actions dans le domaine spatial et la stratégie européenne de défense, dont vous avez peu parlé. Quels sont les effets attendus en la matière au niveau européen ? Quels développements militaires sont attendus dans le domaine capacitaire – je pense notamment au programme GovSatCom qui réunit l'Agence spatiale européenne et l'Agence européenne de défense ? Concrètement, verrons-nous des avancées qui influenceront sur le secteur spatial de défense ? Enfin, pour en revenir à l'utilisation militaire de l'espace, nécessaire à la préservation de notre souveraineté, que pouvez-vous nous dire des applications militaires de Galileo, création européenne bien plus précise, paraît-il, que le GPS puisque la précision serait de l'ordre de la vingtaine de centimètres au lieu du mètre ? Alors que nous nous trouvons actuellement dans une situation de dépendance vis-à-vis du GPS américain, quelles évolutions percevez-vous ?

**M. Jacques Marilossian.** Félicitations à nos deux collègues pour ce rapport. Avec le système GRAVES, la France dispose d'un système de détection de satellites évoluant en orbite basse, développé par l'ONERA. Ce système nous permet de jouir d'une autonomie informationnelle et, sauf erreur, les États-Unis, la Russie et la France sont les seules puissances militaires au monde dotées d'un tel système opérationnel de veille satellitaire. La loi de programmation militaire 2019-2025 prévoit de consolider les capacités spatiales nationales, mais suggère aussi, en parallèle, de penser les choses dans un cadre européen. Par exemple, dans le cadre du programme d'imagerie spatiale MUSIS, nous allons disposer d'un troisième satellite, qui fournira un plus grand nombre de données. Ce satellite est construit en partenariat avec l'Allemagne et la Suède, dans le cadre

d'accords bilatéraux. Dès lors, pour maintenir à haut niveau nos capacités de détection, et notamment avec le successeur de GRAVES, comment pouvons-nous réellement renforcer et accélérer la coopération européenne, et avec qui ? Je pense notamment à la perspective offerte par le Fonds européen de défense.

**Mme Typhanie Degois.** Ma question porte sur le rôle des entreprises dans le secteur spatial. Hier, nous étions habitués à voir les États gérer seuls ce secteur régalien. Aujourd'hui, les entreprises interviennent de plus en plus, à l'image de la société SpaceX ou de celle de M. Jeff Bezos. Dès lors, je souhaitais savoir quel était l'état des entreprises spatiales françaises et comment les soutenir davantage.

**M. Thomas Gassilloud.** À mon tour de saluer le travail de grande qualité de nos deux rapporteurs, ainsi que la grande célérité avec laquelle ils ont dû le mener pour s'inscrire dans le *tempo* des réflexions stratégiques nationales. Vous avez cité, à juste titre, le rapport d'information sur les enjeux de la numérisation des armées dont j'étais co-rapporteur avec M. Becht. Il me semble en effet qu'il existe des concepts communs entre le cyberspace et l'espace exo-atmosphérique. En fait, il s'agit d'espaces de liberté qui, peu à peu, se transforment en espaces de conflictualité. Les États se trouvent donc face à de grandes questions pour savoir comment réagir. Dans ce contexte, les Américains ne s'y trompent pas dans la mesure où, en termes de transferts technologiques et de subventions déguisées, la situation est la même pour SpaceX que pour Apple, Microsoft ou Amazon ; ce sont absolument les mêmes mécanismes qui sont à l'œuvre. Ma question porte sur la régulation et la gouvernance puisque, même sur Terre, la régulation par le droit international est de plus en plus compliquée et que les conflits se règlent bien souvent par la force. Vous nous avez indiqué que le code de bonne conduite proposé par l'Union européenne avait été rejeté par nos partenaires internationaux. Dès lors, quelles sont pour vous les principales pistes en termes de gouvernance ? Faut-il se résoudre à ce que l'espace soit un nouveau *Far West* ?

**M. le président Jean-Jacques Bridey.** Où l'on trouverait ces fameuses pioches et pelles chères à nos rapporteurs ! (*sourires*).

**M. Joachim Son-Forget.** Merci aux rapporteurs pour ce travail de qualité. Dans cette course aux étoiles, la question de l'exploitation minière me semble d'un intérêt particulier. Il y a peut-être là une porte de sortie pour limiter l'exploitation des grands fonds ou rechercher certains métaux rares dont a besoin notre industrie innovante. De plus, pour les voyageurs de l'espace se posera la question de l'utilisation de l'eau, en très grande quantité sur les corps célestes et les astéroïdes, indispensable pour garantir la survie des voyageurs. De même il faudra fournir du carburant à ces voyageurs – on pourrait avoir des sortes de stations-service relais sur la route de Mars. Comme vous l'avez indiqué, certains pays n'hésitent pas à privatiser l'espace, à l'instar des États-Unis avec le *Space Act*. Aujourd'hui, que proposez-vous en matière de gouvernance afin de nous permettre de demeurer compétitifs dans cette conquête qui me semble des plus intéressantes ?

**Mme Anissa Khedher.** Je remercie et félicite mes collègues. Pour préserver la paix et la sécurité dans l'espace, quels peuvent être les rôles de l'ONU et de l'OTAN ?

**M. Stéphane Trompille, co-rapporteur.** D'abord, en réponse à notre collègue Bastien Lachaud, comme nous l'avons d'ailleurs exposé dans notre propos liminaire, notre rapport n'appelle pas à stigmatiser telle ou telle nation. Au-delà de nos partenaires européens, la France est tout à fait prête à travailler avec les États-Unis comme avec la Russie, et l'on ne s'interdit pas de travailler avec la Chine, même s'il s'agit de faire preuve d'une certaine attention en la matière. La France se classe ainsi plutôt parmi les pays ouverts.

Concernant le travail diplomatique en vue de la réglementation de l'espace, il est en cours. L'une des difficultés à lever tient au contrôle du respect des obligations internationales ainsi souscrites : pour qu'une telle réglementation ait un effet « gagnant-gagnant », encore faut-il s'assurer que toutes les parties respectent les obligations qui pèsent sur elles.

L'exploration de l'espace et l'exploitation des ressources spatiales, également évoquées par Monsieur Son-Forget, nous intéressent particulièrement. En effet, alors que les ressources terrestres s'épuisent, Olivier Becht et moi-même voyons dans l'exploitation des ressources exo-atmosphériques un moyen d'assurer nos approvisionnements. Or la Lune, Mars ou des corps célestes comme les comètes possèdent des ressources de toutes sortes, qu'il s'agisse de matériaux utiles à l'industrie ou d'eau. Aujourd'hui, à l'instar des règles applicables aux océans et à leurs ressources, le droit international prévoit que les corps célestes en eux-mêmes n'appartiennent à personne mais permet que ce qui y est prélevé devienne la propriété de celui qui l'a pris. Bien que, pour certains projets, nous nous trouvions là dans le domaine de la science-fiction, des activités de minage céleste pourraient être envisagées en vue d'une utilisation des ressources soit sur terre, soit dans l'espace. En effet, le Graal serait même de bâtir des usines de l'espace ! Et pour les missions spatiales, nous pourrions concevoir des sortes de « stations Total de l'espace » permettant de rejoindre plus rapidement Mars ou d'autres destinations, en « faisant le plein » en route.

**M. Olivier Becht, co-rapporteur.** Monsieur Fiévet nous a interrogés sur la réutilisation des lanceurs. Comme je l'indiquais en introduction, nous, Européens, avons effectivement fait le choix, durant les années 2000, de ne pas croire en une possible réutilisation des lanceurs. Aujourd'hui, SpaceX a démontré que cela était possible. Néanmoins, je note que cette entreprise n'a réussi cette opération qu'une fois ; restera donc à prouver que le modèle économique qu'elle a bâti – c'est-à-dire au moins six réutilisations du même lanceur – est bien viable. Or les Européens travaillent depuis 2014 sur la réutilisation des lanceurs, notamment au travers du projet de moteur Prometheus, qui pourrait, à terme, équiper Ariane Next. Or, la question est bien de savoir ce que l'on fait en attendant que celle-ci soit opérationnelle. Nous avons considéré que le choix de construire Ariane 6 était un bon choix, et que nous n'en avons pas d'autre nous



permettant, à court terme, de conserver nos capacités de lancement de manière réaliste et viable. Permettez-moi d'évoquer un point qui me paraît important pour consolider les choix d'Ariane Group : les constellations de satellites, dont l'on entend de plus en plus parler. Autrement dit, la taille des satellites diminue mais, pour couvrir l'entièreté de la surface du globe, il faut en lancer de plus en plus. C'est ce qui explique que les prévisions selon lesquelles le nombre de satellites actifs en orbite passerait de 1 500 à 8 000 satellites d'ici la fin de la prochaine décennie. Avec des lancements de plus en plus nombreux, le modèle d'un lanceur lourd – de type Ariane 6 – pouvant emporter plusieurs dizaines de ces petits satellites en même temps, deviendrait de nouveau compétitif. Une nouvelle fois, bien que chacun puisse comparer les choix qui ont été faits à ce qu'il se passe aux États-Unis, il n'y a pas lieu, d'après nous, de les remettre en question. Ils sont faits et, s'il faut travailler sur la prochaine génération de lanceurs, nous avons actuellement toute confiance dans le modèle d'Ariane 6. Je tiens également à souligner, car à mon sens il importe de le faire, que l'avenir dépendra aussi de l'attitude des acteurs institutionnels et non institutionnels européens, et de leur choix de faire appel aux lanceurs européens. Ne nous voilons pas la face, le modèle de Space X repose sur le fait que la préférence nationale entre en jeu et que les autorités américaines garantissent à Space X un grand nombre de lancements, pour des montants représentant des milliards de dollars !

Qu'en est-il en Europe ? Jouerons-nous tous le jeu de la préférence européenne ? On peut le penser pour les acteurs institutionnels, quoique certains pays mettent en concurrence Ariane avec des lanceurs étrangers. Si nous voulons que l'industrie européenne soit pleinement compétitive, il nous faut œuvrer en faveur d'une sorte de *Buy European Act*, à l'instar de ce qu'il existe outre-Atlantique. Il s'agit de l'un des enjeux de la compétitivité de notre modèle.

**M. Stéphane Trompille, rapporteur.** Monsieur de la Verpillière nous a interrogés sur les pays avec lesquels la France coopère ou devrait coopérer en matière spatiale. Elle travaille déjà beaucoup avec l'Allemagne, et le fait en veillant à se garder de toute naïveté en la matière. Comme avec les Américains, il faut en effet rester vigilant ; d'ailleurs, les Allemands ont développé des satellites d'observation optique seuls, alors qu'ils étaient censés le faire coopération avec la France. Néanmoins, nous avons déjà des projets spatiaux communs avec l'Allemagne, certains sont d'ailleurs arrivés à maturité, et rien ne nous empêche de poursuivre, bien au contraire. Nous travaillons également avec l'Italie, qui doit avoir une place dans la base industrielle et technologique spatiale européenne.

Pour le reste, nous avons toujours nombre de programmes européens en cours et il peut être intéressant d'en développer de nouveaux, notamment en matière de navettes spatiales. D'ailleurs, dans ce champ technologique dans lequel les Américains ont développé le X37, l'Agence spatiale européenne soutient d'ores et déjà le projet *Space Rider*.

Outre nos partenaires européens, nous pouvons également coopérer davantage avec les États-Unis. Ceux-ci sont d'ailleurs demandeurs d'une

coopération accrue avec leurs alliés, à des fins de résilience. Il s'agit en effet pour eux de s'assurer la possibilité de s'appuyer sur les capacités spatiales de leurs alliés en cas de perte d'un de leur satellite. La France, avec ses capacités satellitaires et son expérience dans divers domaines, y compris la surveillance de l'espace ou les télécommunications sécurisées, est un allié présent et crédible.

Je pense ainsi qu'en matière de coopérations internationales, il ne faut rien s'interdire a priori.

**M. Olivier Becht, rapporteur.** En réponse à la question de notre collègue Yannick Favennec Becot concernant le lien entre l'espace et le contre-terrorisme, bien sûr, les moyens spatiaux sont très utiles dans les actions de contre-terrorisme. Tel est le cas, par exemple, des moyens spatiaux d'écoute électromagnétique ou d'observation. Observer avec une grande précision les réseaux djihadistes entre tout à fait dans le champ des applications envisagées du système CSO. De même, les moyens spatiaux sont très utiles pour guider des frappes sur les camps de terroristes que l'on repère.

En la matière, outre les moyens spatiaux classiques que nous possédons, des équipements nouveaux comme le Stratobus ou le Zéphyr évoqués précédemment pourront présenter un véritable intérêt. En effet, déployés sur un arc de crise précis à très basse altitude, c'est-à-dire environ une vingtaine de kilomètres, ils pourront renforcer les dispositifs d'écoute et d'observation tout en restant inatteignables depuis le sol.

Président Chassaigne, concernant l'Europe de la défense, il faut distinguer plusieurs choses. Il convient tout d'abord de rappeler que le domaine spatial est un domaine dual, au sein duquel, d'ores et déjà, un grand nombre de projets sont réalisés au niveau européen et confiés à des industriels ayant une dimension européenne, tels Ariane group ou Thales Alenia Space. Ces programmes, bilatéraux ou multilatéraux, ne sont pas tous menés par la Commission européenne mais demeurent largement européens, dans le domaine civil en particulier.

Dans le domaine militaire, la France mène un certain nombre de projets en coopération et partage même un certain nombre de satellites avec des États européens, c'est le cas par exemple avec l'Italie. De plus, nous échangeons certains services avec nos amis allemands, notamment en matière d'observation, les Français fournissant des services d'observation optique aux Allemands et ceux-ci des services d'observation radar aux Français.

En matière de développements, en parallèle des travaux de l'Agence spatiale européenne, la Commission européenne a la volonté d'investir dans le domaine spatial des sommes assez considérables, qui peuvent profiter à la défense. Il en va ainsi, par exemple, en matière de surveillance de l'espace, qui peut faire l'objet d'un projet européen dans la mesure où tous les États partagent le même besoin de surveiller ce qui se passe autour de leurs satellites ; en outre, un tel

système pourrait avoir des applications à la fois militaires et civiles, chaque État étant concerné par ces deux aspects de la question.

Enfin, il existe des projets très spécifiques qui pourraient être éligibles demain au Fonds européen de la défense ; c'est d'ailleurs ce que souhaitons Stéphane Trompille et moi-même.

Concernant l'usage militaire de Galileo, il faut tout d'abord rappeler que le système Galileo est l'équivalent du GPS, mais en mieux (*pires*), puisque c'est un système européen et que c'est un programme de nouvelle génération. Avec Galileo, les Européens vont reprendre un temps d'avance par rapport aux États-Unis et nous pouvons en être fiers. De plus, Galileo sera une application duale, comme le GPS, employé tant par les civils que par les militaires. Il faut le souligner : les armées utilisent d'ores et déjà le GPS ; nos avions comme nombre de nos armements, par exemple, reposent sur le GPS pour leur guidage. Les armées passeront vraisemblablement du GPS à Galileo, lorsque celui-ci sera pleinement opérationnel, ce qui n'est pas encore le cas aujourd'hui.

**M. Stéphane Trompille, rapporteur.** Madame Khedher, vous nous interrogez sur l'implication de l'OTAN et le rôle de l'ONU. Aujourd'hui, le spatial n'est pas au cœur des compétences de l'OTAN. D'ailleurs, de façon générale, les cadres de coopération pertinents en matière spatiale ne sont pas nécessairement les mêmes que pour d'autres domaines de coopération. Prenez par exemple le club dit des *Five Eyes* : il constitue le cadre de référence des Américains pour le partage du renseignement, mais aux dires du Pentagone lui-même, il n'a que peu d'intérêt dans le domaine spatial, car ses membres ne sont pas les plus grandes puissances spatiales qui soient – pensons par exemple à l'Australie. De même pour nombre d'États membre de l'Alliance atlantique. À l'inverse, un État comme la France a développé des capacités spatiales autonomes et constitue à ce titre un partenaire de plus grand intérêt pour les États-Unis.

Concernant la réglementation de l'espace, c'est bien l'ONU qui est en charge de l'élaboration de la réglementation de l'espace et du contrôle de l'application des traités de l'espace, et en particulier celui de 1967, qui a prohibé le placement d'armes de destruction massive en orbite, mais pas leur transit, comme l'évoquait Olivier Becht précédemment.

**M. Olivier Becht, rapporteur.** Pour répondre à la question de notre collègue Typhanie Degois sur le lien entre l'État et la BITD, je tiens à souligner que notre industrie spatiale est de premier plan au niveau mondial. Il n'y a aucun complexe à avoir en la matière. Nous avons pu le constater par exemple en étudiant les travaux de l'ONERA ou ceux du CNES, y compris lorsque nous nous sommes déplacés au centre spatial de Toulouse, où nous ont été présentées des technologies françaises qui aujourd'hui équipent le robot Curiosity sur Mars.

Mais ce qui fait peut-être la différence avec les États-Unis, comme notre collègue Thomas Gassilloud et moi-même l'avions fait valoir dans notre rapport

sur les enjeux de la numérisation des armées, c'est que les Américains ont développé un écosystème, un biotope pourrait-on dire, associant très étroitement l'État, notamment *via* le *Department of Defense*, et les entreprises américaines. On constate le même phénomène dans le secteur spatial : on loue Space X pour l'ingéniosité de ses moteurs mais, en réalité, Space X ne les a pas inventés : ils lui ont tout bonnement été donnés par la NASA, qui les avait développés. Ainsi, de la même façon que nous le disions s'agissant du numérique, la France et l'Europe doivent consacrer davantage de crédits au soutien à la R&D de nos entreprises françaises et européennes, et le faire sans complexe. C'est ce qui permettra à notre industrie de maintenir son rang, ou à tout le moins de ne pas décrocher complètement, par rapport aux grandes puissances spatiales de demain, que sont les États-Unis, la Chine et peut-être d'autres. En la matière, les rapports de force évoluent d'ailleurs très vite.

Pour répondre à la question de Monsieur Gassilloud, je dirais que, dans une certaine mesure, oui, l'espace est un nouveau *Far West*, et que la guerre se fera demain dans l'espace. Il faut d'ailleurs se garder de toute naïveté : l'arsenalisation de l'espace est d'ores et déjà un fait, et ceux qui militent aujourd'hui pour des traités de non-arsenalisation sont parfois les premiers à avoir arsenalisé l'espace. Tel est le cas de la Chine, ne nous en cachons pas.

Néanmoins, les logiques coopératives ont toute leur place, ne serait-ce que parce que c'est l'intérêt de chacun, ou en tout cas des grandes puissances. Aucune d'entre elles n'a intérêt à la loi de la jungle. En effet, si chacun détruisait tour à tour les satellites des autres, il en résulterait des débris spatiaux qui, inmanquablement, causeraient des dommages collatéraux catastrophiques. Soulignons-le : détruire un satellite ennemi crée des débris qui détruisent ensuite vos propres satellites.

En ce qui concerne la France, nous recommandons que le Gouvernement, seul compétent en la matière, plaide en faveur d'une régulation internationale des différentes spatiales comportant toutes les garanties nécessaires. Si l'espace sera bien un champ de confrontation, il peut aussi être un champ de régulation. Gardons cependant à l'esprit que, par le cours naturel des choses, à chaque fois que l'Homme acquiert la maîtrise d'un nouveau milieu, il y importe le conflit, voire la guerre. C'est ainsi que la maîtrise de la navigation a conduit à étendre les confrontations sur les mers. De même, bien que le général Foch ait pu dire, peu avant 1914, que « *l'aviation, c'est du sport ; pour l'armée, c'est zéro !* », à partir du moment où l'Homme est allé dans les airs, le combat aérien est né. Aujourd'hui, l'Homme va dans l'espace cyber et c'est devenu un champ de confrontation. De même, l'Homme va dans l'espace et en fera inexorablement un champ de confrontation.

Mais « champ de confrontation » ne veut pas dire « loi de la jungle ». Tel n'est d'ailleurs pas le cas aujourd'hui dans les milieux terrestre, maritime ou aérien, et il n'y a pas de raison que cela le soit dans l'espace. Pour la France, dans

l'immédiat, cela suppose d'élaborer une stratégie qui, fondée sur une doctrine, fasse en sorte que nous puissions protéger notre souveraineté dans l'espace.

**M. Stéphane Trompille, rapporteur.** J'ajouterai, pour répondre aux questions de Thomas Gassilloud, Joachim Son-Forget et Bastien Lachaud concernant les ressources spatiales, que l'on sait bien que la ressource attirera forcément le conflit, malheureusement, et qu'il faudra des mesures de protection, tant pour les convois que pour les engins spatiaux. Pour cela, il faudra développer des sortes de satellites « chiens de garde », pour lesquels les *cubesats* offrent d'ailleurs d'intéressantes possibilités.

**M. Thibault Bazin.** On n'a pas parlé de la loi de programmation militaire, qui évoque pourtant bien les enjeux spatiaux dans son rapport annexé mais qui ne précise pas les objectifs ni les moyens que l'on y consacre, notamment en recherche-développement. En la matière, vous avez mentionné le rôle de l'ONERA et du CNES, mais on sait que d'autres pays veillent à investir dans des domaines de R&D particulièrement risqués, mais permettant en cas de succès des ruptures technologiques en vue de réduire les coûts ; ils gagnent ainsi en compétitivité et en tirent un avantage concurrentiel. Faudrait-il à l'avenir flécher, dans les lois de programmation militaire, des crédits de recherche et développement au profit de la recherche à risque ?

**M. Yannick Favennec Becot.** En fait, Monsieur le rapporteur, ma question portait sur la coopération avec les pays africains plutôt que sur le terrorisme. L'Afrique a adopté une politique spatiale africaine dans le cadre de l'Union européenne : comment allons-nous accompagner ces pays ?

**M. Olivier Becht, rapporteur.** Nous n'avons pas consacré de travaux spécifiques à la politique spatiale des États africains. Sur le plan des coopérations industrielles ou opérationnelles en matière spatiale, nous avons regardé quels partenariats la France pourrait nouer ou resserrer avec certaines puissances spatiales, notamment les États-Unis, les autres États européens et la Russie.

**M. Yannick Favennec Becot.** La Chine est engagée avec ces États.

**M. Thibault Bazin.** La Chine est engagée en Afrique – plutôt qu'avec les États africains.

**M. Olivier Becht, rapporteur.** Certes, mais l'état de leurs capacités spatiales civiles et militaires appelle à des formes de coopération relevant davantage de l'accompagnement par le CNES ou des politiques conduites sous l'égide du ministère des Affaires étrangères que de la coopération militaire à proprement parler.

**M. Stéphane Trompille, rapporteur.** J'ajouterai que la loi de programmation militaire prévoit quand même 3,6 milliards d'euros pour le secteur spatial. Rien ne nous empêche, dans ces conditions, d'étudier s'il est possible de

flécher certains de ces crédits vers des recherches à risques, comme cela a été préconisé s'agissant du numérique.

**M. le président Jean-Jacques Bridey.** Les 3,6 milliards d'euros dont vient de parler le co-rapporteur permettront le renouvellement de tous nos satellites. Celui-ci a commencé avec le lancement du premier satellite CSO le 19 décembre dernier, et sera achevé d'ici 2025.

**M. Olivier Becht, rapporteur.** Ce qui manque aujourd'hui à la France, par rapport à d'autres grandes puissances, ce ne sont pas forcément des crédits supplémentaires mais surtout l'acceptation de la prise de risque. C'est une question de culture. Aux États-Unis, quelles que soient les technologies, qu'elles soient cinétiques, numériques ou spatiales, la DARPA est capable de dépenser plus de trois milliards d'euros par an en sachant qu'elle investit les deux tiers de ces crédits en pure perte. La France est-elle prête à accepter que sur le milliard d'euros qu'elle a pour ambition de consacrer chaque année aux études amont, plusieurs centaines de millions d'euros soient utilisés sans déboucher sur rien ? Le modèle américain nous montre que quand on dépense trois milliards dont deux ne servent à rien, le milliard qui, lui, sert à quelque chose débouche sur des ruptures technologiques majeures qui vont ensuite irriguer l'industrie et faire – par exemple – le succès de produits-phares d'Apple. On ne le dira jamais assez : l'écran tactile de l'iPhone est issu de la DARPA, de même que l'intelligence artificielle, Siri et le GPS. L'enjeu est exactement identique en matière spatiale : si on veut des technologies de rupture, il faut, à un moment donné, accepter le risque que certains développements n'aboutissent à rien pour que d'autres entraînent de vraies ruptures et de vrais succès pour notre industrie, ce qui concourt à défendre notre souveraineté.

En guise de conclusion, je tiens à remercier, en mon nom et en celui de mon collègue, l'ensemble de la commission et particulièrement le président Jean-Jacques Bridey pour la confiance que vous nous avez faite en nous confiant cette mission.

**M. le président Jean-Jacques Bridey.** La question de l'acceptation du risque est bien l'enjeu dans tous les domaines, y compris dans celui de l'intelligence artificielle, dont on a parlé.

Chers collègues, nous allons à présent procéder au vote sur la publication du rapport.

\*

\* \*

*La commission autorise à l'unanimité le dépôt du rapport d'information sur le secteur spatial de défense en vue de sa publication.*

## ANNEXES

### ANNEXE 1 : AUDITIONS DE LA MISSION D'INFORMATION

*(Par ordre chronologique)*

➤ **Office national d'études et de recherches aérospatiales – M. Bruno Sainjon**, président–directeur général, et **M. Jacques Lafaye**, conseiller du président ;

➤ **Ariane Group – M. Alain Charmeau**, président, et **M. Hugo Richard**, directeur des affaires publiques pour la France et l'Union européenne ;

➤ **M. Jean-Jacques Dordain**, ancien président de l'Agence spatiale européenne ;

➤ **Commandement interarmées de l'espace – M. le général Michel Friedling**, commandant interarmées de l'espace ;

➤ **État-major de l'armée de l'air – M. le général Philippe Lavigne**, chef d'état-major de l'armée de l'air, et **M. le colonel Olivier Saunier**, assistant militaire ;

➤ **Thales Alenia Space – M. Jean-Loïc Galle**, président–directeur général, **M. Riadh Cammoun**, vice-président chargé des affaires publiques et réglementaires et **Mme Isabelle Caputo**, directrice des relations parlementaires et politiques ;

➤ **Groupement des industries françaises aéronautiques et spatiales et Airbus Defence & Space – M. Nicolas Chamussy**, président de la commission « espace » du groupement et vice-président exécutif d'Airbus Defence & Space chargé des systèmes spatiaux, **M. Philippe Coq**, secrétaire permanent des affaires publiques du groupe Airbus, **Mme Anne Bondiou-Clergerie**, directrice chargée de la R&D, de l'espace et de l'environnement du groupement, **M. Jérôme Jean**, directeur des affaires publiques du groupement et **Mme Agathe Laplace**, chargée de mission pour les affaires publiques d'Airbus France ;

➤ **Direction générale de l'armement – M. l'ingénieur général de l'armement Joël Barre**, délégué général pour l'armement, **Mme l'ingénieure générale de l'armement Caroline Laurent**, directrice de la stratégie, et **M. l'ingénieur en chef de l'armement Robin Jaulmes**, conseiller technique ;

➤ **Centre national d'études spatiales** – **M. Jean-Yves Le Gall**, président, **M. le général (2S) Philippe Steininger**, conseiller militaire du président, et **M. Pierre Trefouret**, directeur du cabinet du président ;

➤ **Direction générale des relations internationales et de la stratégie** – **M. le colonel François Marie Gougeon**, directeur de la stratégie de défense, et **M. Frédéric Planchon**, conseiller chargé des affaires spatiales.



## ANNEXE 2 : DÉPLACEMENTS DES RAPPORTEURS

(Par ordre chronologique)

### 1. Déplacement à Cannes et à Toulouse (28 et 29 novembre 2018)

➤ **Site de Thales Alenia Space à Cannes – M. Benoît Hancar**, directeur des relations institutionnelles de Thales Alenia Space, les responsables des laboratoires de recherche et leurs équipes, ainsi que les membres des organisations représentatives des personnels du site ;

➤ **Centre spatial de Toulouse – M. Lionel Suchet**, directeur général délégué du centre national des études spatiales, **Mme Marie-Anne Clair**, directrice des systèmes orbitaux, les cadres et les opérateurs du centre de programmation, de commande et de contrôle de la composante spatiale optique (CSO), les chercheurs, ingénieurs, cadres et opérateurs du centre d'orbitographie opérationnelle, du service de la qualité d'image et du *French Instrument Mars Operation Centre* au centre d'opérations des missions scientifiques ;

➤ **Site d'Airbus Defence & Space à Toulouse – M. Nicolas Chamussy**, vice-président exécutif chargé des systèmes spatiaux, **M. Jean-Pierre Serra**, vice-président chargé de la sécurité et de la défense, **M. Alain Frizon**, directeur des programmes militaires de satellites de télécommunications d'Airbus, **M. Dominique Gillieron**, directeur du centre de compétence optique spatiale, **M. Laurent Boulogne**, responsables des activités relatives à l'alerte spatiale, **M. Benoît de Maupéou**, responsable des relations avec la direction générale de l'armement pour les affaires spatiales, **Mme Veronica Aznar–Abian**, responsable de la communication technique pour les satellites de télécommunications, **M. Pierre-Alain Bosc**, directeur des ventes de CIS Intelligence, **M. Ange Defendini**, directeur des programmes futurs d'observation de la Terre, de science et de navigation, **M. Frédéric Voulouzan**, responsable des futurs systèmes d'observation de défense spatiale et de protection, les chercheurs, ingénieurs, cadres et opérateurs des services chargés de l'imagerie spatiale, des télécommunications, de la surveillance de l'espace ainsi que ceux des salles d'intégration des satellites, d'instrumentation et d'assemblage des satellites OneWeb.

## **2. Déplacement aux États-Unis** (du 11 au 14 décembre 2018)

➤ **Chambre des représentants des États-Unis** – **M. le Congressman Ro Khanna** (représentant de la Californie) et ses collaborateurs, **M. le Congressman Mike Rogers** (représentant de l'Alabama), président de la sous-commission des forces stratégiques de la commission des forces armées, et ses collaborateurs ;

➤ **Présidence des États-Unis, National Space Council** (Conseil national de l'espace) – **M. Michael Beavin**, directeur de la politique commerciale spatiale ;

➤ **Stimson Center** – **M. Michael Krepon**, co-fondateur ;

➤ **Center for Strategic and International Studies** (centre d'études stratégiques et internationales) – **M. Todd Harrison**, directeur des études relatives aux budgets militaires et à la sécurité aérospatiale et **M. Thomas Karako**, directeur des études relatives aux missiles ;

➤ **Satellites Industry Association** – **M. Tom Stroup**, président, et **Mme Therese Jones**, directrice générale des affaires politiques ;

➤ **George Washington University** – **M. le professeur Henry Hertzfeld**, professeur de politiques spatiales et d'affaires internationales à l'Institut d'études spatiales de l'École Elliott d'affaires internationales et professeur associé de droit ;

➤ **Department of Defense** – **M. John Hill**, directeur général de la politique spatiale, son adjointe et son assistant militaire ;

➤ **Ambassade de France** – **M. Gérard Araud**, ambassadeur de France, **M. Norbert Paluch**, conseiller spatial à l'ambassade de France aux États-Unis et représentant du CNES aux États-Unis, **M. le colonel Olivier Kaladjian**, attaché de défense adjoint et **M. Boris Toucas**, conseiller pour les affaires stratégiques.

## **3. Déplacement sur la base aérienne 942 « Capitaine Jean Robert » de Lyon-Mont-Verdun** (20 décembre 2018)

➤ **Base aérienne 942** – **M. le colonel Arnaud Bourguignon**, commandant la base aérienne ;

➤ **Centre national des opérations aériennes** – **M. le général Louis Pena**, commandant la brigade aérienne des opérations et **M. le colonel Julien Sabene**, commandant le centre ;

➤ **Centre opérationnel de surveillance militaire des objets spatiaux (COSMOS)** – **M. le colonel Thomas Vinçotte**, adjoint du général commandant la brigade aérienne des opérations et **M. le lieutenant-colonel Thierry Cattaneo**, commandant le centre, les officiers, sous-officiers et militaires du rang du centre.

### ANNEXE 3 : CONTRIBUTION DU GROUPE LA FRANCE INSOUmise

Le gouvernement a manifesté la volonté ces derniers mois d'élaborer une véritable stratégie pour l'espace. L'initiative est louable dans la mesure où ce domaine intéresse particulièrement la défense de la souveraineté des Français.es et constitue un volant d'entraînement pour l'industrie tant civile que militaire.

Néanmoins, le groupe de la *France insoumise* souhaite rappeler d'importants principes sur lesquels le gouvernement ne devra pas revenir. Ces principes sont une base pour établir une orientation ambitieuse pour faire de l'espace une nouvelle frontière de l'humanité, consciente des enjeux humains et écologiques.

La première des préoccupations de la France doit être d'éviter que l'espace ne devienne un champ de confrontations. L'attitude récente des grandes puissances spatiales ne devrait pas faire réviser cet objectif. L'espace est un symbole de paix et de coopération entre les Nations, il doit le demeurer.

Pour ce faire, l'attitude de la France doit être empreinte de circonspection. Elle ne doit pas stigmatiser telle ou telle puissance, ne pas considérer que la Russie ou la Chine seraient par essence des rivales tandis que les États-Unis sont des amis. À l'égard de ces derniers, la mise en place du système GRAVES a par exemple largement montré qu'il ne fallait nourrir aucune naïveté. Aussi, les démarches consistant à renforcer l'autonomie sont à poursuivre. Désensibiliser les appareils aux composants étrangers est par exemple une bonne chose.

La France doit en outre refuser l'arsenalisation de l'espace et mener un travail diplomatique constant pour enrayer une dynamique néfaste qui conduirait à opérer « dans l'espace ». Corollairement, elle doit chercher à faire prévaloir la coopération. Le meilleur moyen pour y parvenir est d'œuvrer au maintien, au respect et au renforcement de la réglementation internationale. Un nouveau traité de l'espace encore plus ambitieux que celui de 1967 doit être un objectif.

L'espace ne doit pas être une sorte d'*Eldorado* du XXI<sup>e</sup> siècle dont la conquête et la possession occasionneraient des violences et des désastres. C'est pourquoi depuis plusieurs décennies l'espace est considéré comme *res nullius*. Il ne doit pas faire l'objet d'une forme quelconque d'appropriation exclusive. De fait, l'exploration spatiale doit être conçue comme une aventure humaine. Elle doit

être envisagée à l'échelle de l'espèce et à l'aune de l'histoire universelle. C'est pourquoi l'organisation de la présence humaine dans l'espace et sa dépollution sont par exemple deux chantiers majeurs de la coopération internationale nécessaire. En tout état de cause, c'est l'intérêt général humain qui doit prévaloir.

Pourtant, l'abaissement du coût d'accès à l'espace remet en cause cette orientation prise il y a longtemps. La France doit œuvrer à la maintenir en refusant par exemple l'exploitation des matières premières spatiales.

La Nouvelle frontière évoquée ne doit pas se transformer en une redite de la *Frontier* américaine. De fait, il n'est pas souhaitable de transposer à l'exploration spatiale des paradigmes et raisonnements qui ont montré leur limite sur Terre. À l'inverse, l'impératif écologique devrait être davantage pris en compte par les acteurs du secteur. Le groupe de la *France insoumise* regrette d'autant plus qu'il n'ait pas été plus largement abordé que les technologies spatiales sont déterminantes dans la mesure et la prévention des effets du réchauffement climatique.

Ce qui est vrai dans l'ordre de l'écologie l'est également du point de vue économique. Le groupe de la *France insoumise* a par exemple relevé que la plupart des personnes auditionnées par la mission ont souligné combien le *New Space*, trop souvent présenté comme une révolution trouvant son origine dans la libre-entreprise, est en réalité le fruit de l'interventionnisme des États-Unis. De fait, le groupe de la *France insoumise* exprime son opposition aux privatisations qui ont eu lieu dans le secteur spatial ces dernières années, ainsi qu'aux transformations qui ont affecté le financement de la recherche depuis 2008. Effectivement, le financement de la recherche fondamentale a beaucoup pâti des réformes engagées depuis 2008. Le financement par projet réduit les marges de manœuvre des savants. Or les technologies de rupture ne procèdent, par définition, jamais du développement de projets anciens.

Du point de vue de la gouvernance, la *France insoumise* constate que dans ce domaine aussi l'idéologie conduit à des aberrations. Si certains se félicitent de voir augmenter le budget de la Commission européenne dédié à l'espace, force est de constater que ces financements constituent un doublon avec ceux de l'ESA. De plus, le « principe de retour » qui prévaut dans le développement des programmes conduit à subventionner des industries nationales immatures au détriment de la crédibilité et de l'efficacité des projets. Les déboires des différents projets portés au sein de l'Union européenne devraient servir d'avertissements. L'ESA est, au contraire, la démonstration de l'efficacité de partenariats choisis entre nations volontaires pour avancer ensemble. La *France insoumise* regrette d'ailleurs que la France agisse avec la même naïveté face à l'Allemagne quand celle-ci bafoue les accords de Schwerin.

Enfin, d'un point de vue strictement militaire, le groupe de la *France insoumise* souhaite renouveler ses réserves devant la tendance actuelle qu'on peut qualifier de « fuite en avant technologique ». Les armées françaises sont historiquement caractérisées par leur capacité à opérer en articulant rusticité et maîtrise des technologies les plus avancées. La maîtrise des technologies spatiales, les possibilités qu'elles offrent aux armées sont autant de vulnérabilités dont il faut mesurer systématiquement s'il faut les consentir et comment suppléer aux défaillances qu'elles entraîneraient éventuellement. La dépendance de plus en plus certaine de notre dissuasion face aux technologies du spatial ne peuvent que nous renforcer dans cette voie.