



Conseil Supérieur de la Formation
et de la Recherche Stratégiques



GEOSTRATEGIA
L'agora stratégique 2.0 du CSFRS

**PETITS
SATELLITES**

**PETITS
LANCEURS**

FONDATION
pour la RECHERCHE
STRATÉGIQUE

Nouvel écosystème?

Rapport Etude « PSPL : Petits Satellites – Petits lanceurs »

Edité en Mai 2018.

Etude des évolutions technologiques et économiques et analyse de leurs implications sur la sécurité spatiale et le positionnement français/européen sur le marché international

Cette étude se compose de trois grandes parties. La première présente l'état des lieux à l'instant t, celui du 1^{er} trimestre 2018. Elle retrace les modalités de développement et d'usage des petits satellites et des petits lanceurs afin d'identifier les éléments actuels de rupture et de continuité. Une analyse comparative par pays et par missions comme par types de lanceurs permet d'appréhender les enjeux qui se dessinent.

La seconde partie se situe à deux niveaux. Elle étudie dans un premier temps les interrelations entre petits satellites et petits lanceurs en les replaçant dans une perspective historique afin de mieux comprendre les synergies envisagées (et peut-être rêvées). Elle envisage ensuite plus précisément les questions de sécurité spatiale et les implications stratégiques des programmes envisagés.

La troisième partie dresse les enseignements tirés des analyses précédentes pour établir un bilan global. Cet arrière-plan posé, les risques et opportunités qui s'offrent à la France et l'Europe sont envisagés à partir desquels sont examinées les perspectives possibles par l'établissement de trois grands scénarios.

La finalité de l'étude était d'analyser les effets de l'irruption d'acteurs privés issus du monde du numérique caractéristique du New Space engendrant la multiplication de projets de constellations et le développement de petits lanceurs dédiés à terme à ce nouveau marché. Après plusieurs mois de travail en équipe, les résultats montrent une situation complexe et ouvrent de nouvelles pistes. Ils appellent à une vision nuancée liée à l'enchevêtrement des besoins, des logiques et des temporalités. Ils soulignent aussi le décalage entre le modèle américain marqué par son écosystème, dans lequel les acteurs privés se développent avec le soutien d'acteurs publics qui restent bien présents, et celui des autres membres du club spatial faisant bien apparaître le statut particulier de l'espace européen.

Auteur(s) : FLORENCE GAILLARD-SBOROWSKY – ISABELLE SOURBÈS-VERGER – JEAN-JACQUES TORTORA

Source(s) : CSFRS, FRS

Rapport n° 144/FRS/PSPL
du 2 mai 2018

Convention d'aide à la recherche CSFRS – Projet PSPL
signée le 11 mai 2016
début du projet le 1^{er} septembre 2016.

*Action soutenue par le Conseil supérieur de
la formation et de la recherche stratégiques.*

Petits satellites – Petits lanceurs PSPL

*Étude des évolutions technologiques et économiques et analyse de
leurs implications sur la sécurité spatiale et le positionnement fran-
çais/européen sur le marché international*

**FLORENCE GAILLARD-SBOROWSKY – ISABELLE SOURBÈS-VERGER –
JEAN-JACQUES TORTORA**

**AVEC LA CONTRIBUTION DE
RAYMOND GHIRARDI – MARTIN SARRET**

FONDATION
pour la **RECHERCHE**
STRATÉGIQUE

CSFRS
Conseil Supérieur de la Formation
et de la Recherche Stratégiques

SOMMAIRE

INTRODUCTION	11
1 – ÉTAT DES LIEUX EN JANVIER 2018	15
1.1 – Présentation de l’outil documentaire	15
1.1.1 – Caractéristiques générales	15
1.1.2 – Éléments de définition : la notion de petits satellites	17
1.1.3 – Éléments de définition : la notion de petits lanceurs	21
1.1.4 – Mode d’emploi	22
1.2 – État des lieux de l’occupation de l’espace par les petits satellites	26
1.2.1 – Évolution des usages des petits satellites – le cas des satellites scientifiques et technologiques civils et militaires	26
1.2.2 – Répartition géographique des propriétaires des petits satellites	29
1.2.3 – Répartition par type d’utilisateurs	31
1.2.4 – Caractérisation de la demande	33
A.– Principaux clients publics	34
B.– Clients privés	37
1.2.5 – Nature des missions	38
A.– Étude de cas : observation de la Terre	39
B.– Étude de cas : télécommunications	41
1.3 – Panorama des petits lanceurs opérationnels	42
1.3.1 – Présentation générale	42
1.3.2 – Ambition commerciale	43
1.4 – L’horizon des programmes de lanceurs	48
1.4.1 – Lanceurs en développement	48
1.4.2 – Lanceurs en projet	52
1.4.3 – Méthode de lancement	55
1.4.4 – Coût de développement d’un petit lanceur	56
1.4.5 – Fiabilité des petits lanceurs	56

2 – PETITS SATELLITES ET PETITS LANCEURS : UNE RELATION DISSYMMÉTRIQUE, ANALYSE DE SES ENJEUX ET IMPLICATIONS STRATÉGIQUES	59
2.1 – Analyse des lancements de petits satellites	59
2.1.1 – Classes des lanceurs utilisés pour le lancement de petits satellites	59
2.1.2 – Lancements individuels de petits satellites	64
2.1 – Présentation des ambitions particulières concernant les petits lanceurs	66
2.1.1 – Les acteurs privés	66
2.1.2 – Les acteurs publics	67
A.– Apprentissage technologique	67
B.– Non-dépendance	67
C.– Valorisation des acquis sur un créneau spécifique	68
D.– Exploitation de singularités géographiques	68
E.– Amélioration de l'attractivité de régions isolées	68
F.– Rôle plus important dans le secteur des lanceurs	69
G.– Politique spatiale nationale en complément des activités ESA et Commission	69
H.– Reconversion de stocks de missiles	69
2.1.3 – Les différentes approches et leurs caractéristiques nationales	70
2.2 – Convergences/divergences dans les logiques petits satellites et petits lanceurs	75
2.2.1 – Interrelations dissymétriques	75
2.2.2 – Nouvelles approches : mythes et réalités	77
A.– La rupture dans le domaine des petits satellites	77
B.– La rupture dans le domaine des petits lanceurs	78
2.2.3 – Bilan des changements	84
2.3 – Implications stratégiques	84
2.3.1 – Analyse des éléments déclencheurs et de leur dimension économique ..	85
2.3.2 – Enjeux de sécurité sur terre : relations entre les compétences missiles et petit lanceur	87
2.3.3 – Petits satellites et enjeux de sécurité terrestre	91
A.– Le cas de la diffusion de l'imagerie spatiale à haute résolution	91
B.– La stratégie américaine délibérée d'un renforcement de l'initiative privée	94
2.3.4 – La question de plus en plus sensible de la sécurité dans l'espace	96
3 – BILAN ET PERSPECTIVES	99
3.1 – Analyse des éléments de rupture	99
3.1.1 – Nouvelles modalités, nouveaux processus ?	99
A.– Au plan technologique	99
B.– Au plan commercial	100

C.–	Au plan opérationnel	101
D.–	Au plan politique	101
3.1.2 –	L'enjeu majeur des coûts d'accès à l'espace	102
A.–	La véracité des prix annoncés	103
B.–	La complexité du développement d'un lanceur.....	107
3.2 –	Risques et opportunités pour la France et l'Europe.....	108
3.2.1 –	Place de l'Europe et de la France dans la comparaison internationale ...	108
3.2.2 –	Focus sur l'Europe.....	110
3.2.3 –	Perspectives.....	112
3.3 –	Scénarios	116
3.3.1 –	Prise en compte d'éléments d'autonomie France/ Europe	116
A.–	Une capacité incontournable : la surveillance de l'espace.....	116
B.–	La multiplication des projets de petits lanceurs en Europe : éléments d'autonomie ou révélateurs de la fragilité européenne ?	123
3.3.2 –	Options de choix pour la France et l'Europe	126
A.–	Scénario 1 : statu quo	127
B.–	Scénario 2 : effacement relatif de l'Europe sur le créneau des petits satellites et petits lanceurs	128
C.–	Scénario 3 – développement d'une présence renforcée avec deux options	129
 ANNEXE 1		
	TABLEAU HISTORIQUE PETITS LANCEURS ARRÊTÉS/RETIRÉS (PROJETS OU DÉVELOPPÉS).....	131
 ANNEXE 2		
	FICHE PAYS – ÉTATS-UNIS	141
A.	Le contexte du spatial américain, philosophie des systèmes "petits", types d'acteurs.....	141
B.	Les projets petits lanceurs américains : description et analyse des caractéristiques propres	142
C.	Les projets petits satellites américains : description et analyse des caractéristiques propres	142
D.	Synthèse critique sur l'innovation et la sécurité	145
E.	Synthèse générale	150
 ANNEXE 3		
	FICHE PAYS – EUROPE	153
A.	Contexte général du spatial européen	153
B.	Les projets petits lanceurs européens.....	155
C.	Les projets petits satellites européens	159
D.	Résumé des logiques marquantes	160

ANNEXE 4	
	FICHE PAYS – RUSSIE..... 163
A.	Le cadre général des activités spatiales russes : le poids des entreprises d'État 163
B.	L'adaptation des acteurs traditionnels comme Glavkosmos 166
C.	Une volonté politique de soutien à l'innovation : le rôle de Skolkovo 166
D.	Les projets de petits satellites russes – une occasion de développement d'une autre industrie spatiale..... 168
E.	Les projets de petits lanceurs russes, les turbulences de l'environnement institutionnel 172
ANNEXE 5	
	FICHE PAYS – CHINE 175
A.	Contexte général du spatial national..... 175
B.	Les initiatives en matière de petits satellites et petits lanceurs..... 181
C.	La référence au modèle américain : son pouvoir d'attraction et ses limites 184
D.	Bilan..... 184
ANNEXE 6	
	FICHE PAYS – INDE..... 187
A.	Contexte général du spatial national : une industrie spatiale à créer 187
B.	L'évolution du modèle économique dominant 192
C.	Les initiatives en matière de petits satellites et petits lanceurs..... 194
D.	Résumé des logiques marquantes 196
ANNEXE 7	
	APPROCHE THÉORIQUE DE LA NOTION D'INNOVATION 199
A.	Éléments généraux..... 199
B.	Les catégories d'innovation..... 201
C.	Les types d'innovation 202
ANNEXE 8	
	BIBLIOGRAPHIE SUR L'INNOVATION 205
ANNEXE 9	
	BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE..... 207

FIGURES & TABLEAUX

FIGURE N° 1 :	RÉPARTITION PAR MASSES DES SATELLITES LANCÉS DE 1957 À 2015 PAR TRANCHES DE 5 ANS.....	19
FIGURE N° 2 :	RÉPARTITION DES SATELLITES LANCÉS PAR MASSES ET PAR PAYS DE 1957 À 2015.....	20
FIGURE N° 3 :	PETITS SATELLITES LANCÉS DE 2003 À 2017 PAR MISSIONS	25
FIGURE N° 4 :	SATELLITES S&T LANCÉS DE 1957 À 2017 PAR MASSES ET PAR NATIONALITÉS ..	27
FIGURE N° 5 :	MASSES DES PETITS SATELLITES LANCÉS DEPUIS 1996	29
FIGURE N° 6 :	PETITS SATELLITES PAR NATIONALITÉS DEPUIS 1996.....	30
FIGURE N° 7 :	RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE DES PETITS SATELLITES LANCÉS DE 2003 À 2018 .	31
FIGURE N° 8 :	NATIONALITÉS DES PROPRIÉTAIRES DE PETITS SATELLITES LANCÉS DE 2011 À 2018.....	32
FIGURE N° 9 :	RÉPARTITION DES PETITS SATELLITES LANCÉS DE 1996 À 2016 PAR TYPES D'ENTITÉS.....	33
FIGURE N° 10 :	SATELLITES PUBLICS LANCÉS PAR NATIONALITÉS DE 1996 À 2016	34
FIGURE N° 11 :	RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE PAR PROPRIÉTAIRES « PUBLICS » DE 2003 À 2018 (BASE PSPL)	35
FIGURE N° 12 :	RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE PAR UNIVERSITÉS DES SATELLITES LANCÉS DE 2003 À 2018 (BASE PSPL)	35
FIGURE N° 13 :	PRINCIPALES ENTITÉS PUBLIQUES UTILISATRICES DE PETITS SATELLITES.....	36
FIGURE N° 14 :	RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE DES PETITS SATELLITES MILITAIRES DE 2003 À 2018 (BASE PSPL)	36
FIGURE N° 15 :	RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE DES PROPRIÉTAIRES COMMERCIAUX BASE PSPL ..	37
FIGURE N° 16 :	RÉPARTITION DES PROPRIÉTAIRES PRIVÉS DE 1996 À 2016	37
FIGURE N° 17 :	SATELLITES DES CONSTELLATIONS EN ORBITE EN 2016.....	38
FIGURE N° 18 :	PETITS SATELLITES PAR NATIONALITÉS ET TYPES DE MISSIONS.....	39
FIGURE N° 19 :	PETITS SATELLITES D'OBSERVATION DE LA TERRE PAR PAYS DE 2003 À 2018.....	39
FIGURE N° 20 :	PETITS SATELLITES D'OBSERVATION DE LA TERRE LANCÉS EN 2017	40
FIGURE N° 21 :	PETITS SATELLITES D'OBSERVATION DE LA TERRE LANCÉS EN 2016	40
FIGURE N° 22 :	PETITS SATELLITES DE TÉLÉCOM LANCÉS DE 2003 À 2018	41
FIGURE N° 23 :	CAPACITÉS D'EMPORT EN LEO ET SSO PAR LANCEURS OPÉRATIONNELS	46
FIGURE N° 24 :	RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE DES PETITS LANCEURS EN DÉVELOPPEMENT	50
FIGURE N° 25 :	CAPACITÉ EN LEO ET SSO DES LANCEURS EN DÉVELOPPEMENT.....	51
FIGURE N° 26 :	MÉTHODE DE LANCEMENT LANCEURS OPÉRATIONNELS.....	55
FIGURE N° 27 :	MÉTHODE DE LANCEMENT LANCEURS EN DÉVELOPPEMENT	55
FIGURE N° 28 :	MÉTHODE DE LANCEMENT LANCEURS EN PROJET	56

FIGURE N° 29 :	TYPE ET NATIONALITÉ DES LANCEURS ASSURANT LE LANCEMENT DE PETITS SATELLITES DE 2011 À 2018	61
FIGURE N° 30 :	LANCEURS UTILISÉS DE 1996 À 2016 POUR LA MISE SUR ORBITE DE PETITS SATELLITES.....	62
FIGURE N° 31 :	NOMBRE DE PETITS SATELLITES LANCÉS PAR LANCEURS EN 2014	63
FIGURE N° 32 :	NOMBRE DE PETITS SATELLITES LANCÉS PAR LANCEURS EN 2015	63
FIGURE N° 33 :	NOMBRE DE PETITS SATELLITES LANCÉS PAR LANCEURS EN 2016	63
FIGURE N° 34 :	NOMBRE DE PETITS SATELLITES LANCES PAR LANCEURS EN 2017	64
FIGURE N° 35 :	PETITS LANCEURS UTILISÉS DE 1996 À 2016.....	64
FIGURE N° 36 :	PETITS LANCEURS OPÉRATIONNELS, EN DÉVELOPPEMENT OU EN PROJET PAR NATIONALITÉ DU MAÎTRE D'ŒUVRE	71
FIGURE N° 37 :	MASSES ET MISSIONS DES SATELLITES NATIONAUX ET ÉTRANGERS LANCÉS PAR L'INDE	74
FIGURE N° 38 :	TOTAL DES PETITS SATELLITES LANCÉS DE 2003 À 2018 PAR NATIONALITÉS.....	76
FIGURE N° 39 :	ÉTATS LANCEURS DE PETITS SATELLITES 2003-2018	76
FIGURE N° 40 :	DISTRIBUTION DES LANCEMENTS DE PETITS SATELLITES PAR CLASSE DE MASSE..	82
FIGURE N° 41 :	CLASSES DES LANCEURS UTILISÉS POUR LE LANCEMENT DE PETITS SATELLITES..	83
FIGURE N° 42 :	NOMBRE DE LANCEURS AVEC UNE FILIATION MISSILE	88
FIGURE N° 43 :	RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE DES LANCEURS ISSUS DE FILIATIONS MISSILES	88
FIGURE N° 44 :	TYPE DE PROPULSION DES LANCEURS EN DÉVELOPPEMENT	89
FIGURE N° 45 :	RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE DES TYPES DE PROPULSION POUR LES LANCEURS EN DÉVELOPPEMENT	89
FIGURE N° 46 :	PORTE-AVIONS CHINOIS PHOTOGRAPHIÉ PAR UN SATELLITE PLANET	93
FIGURE N° 47 :	PAGE D'ACCUEIL DU SITE PLANET.COM	93
FIGURE N° 48 :	LES DIFFÉRENTES APPROCHES POUR RÉDUIRE LES COÛTS DE LANCEMENT	103
FIGURE N° 49 :	PRIX PAR LANCEMENT POUR LES PRINCIPAUX LANCEURS	104
FIGURE N° 50 :	CYCLE VERTUEUX DE RENFORCEMENT DE LA CROISSANCE DES MARCHÉS, DE L'INNOVATION ET DES INVESTISSEMENTS	105
FIGURE N° 51 :	LANCEURS AVEC COMPOSANTS RÉUTILISABLES PAR STATUT	106
FIGURE N° 52 :	NOMBRE DE PETITS SATELLITES LANCÉS PAR NATIONALITÉ DES OPÉRATEURS DE JANVIER 2003 À JANVIER 2018	109
FIGURE N° 53 :	NOMBRE DE SATELLITES MIS SUR ORBITE PAR ÉTAT LANCEUR DE 2003 À 2018....	110
FIGURE N° 54 :	NOMBRE DE PETITS SATELLITES EUROPÉENS LANCÉS DE 2003 À 2018 PAR NATIONALITÉS DES OPÉRATEURS	111
FIGURE N° 55 :	PETITS SATELLITES EUROPÉENS LANCÉS PAR TYPE DE LANCEURS EUROPÉENS OU AUTRES	112
FIGURE N° 56 :	PETITS SATELLITES LANCÉS ET PROJECTION ENTRE 2009 ET 2020.....	113
FIGURE N° 57 :	NOMBRE DE LANCEMENTS PAR CAPACITÉS DE LANCEURS 2010-2022.....	114
FIGURE N° 58 :	NOMBRE DE SATELLITES PAR MASSE 2010-2022.....	114
FIGURE N° 59 :	PLANISPHERE DES CONSTELLATIONS DE PETITS LANCEURS EN PROJET EN 2018 ...	115
FIGURE N° 60 :	CAPTEURS DU RÉSEAU SST DE L'UNION EUROPÉENNE.....	117

TABLEAU N° 1 :	PETITS LANCEURS OPÉRATIONNELS	42
TABLEAU N° 2 :	TYPE ET NATURE DES FILIÈRES DE DÉVELOPPEMENT DES PETITS LANCEURS OPÉRATIONNELS.....	44
TABLEAU N° 3 :	PROGRAMMATION DES LANCEMENTS VEGA À HORIZON 2021	46
TABLEAU N° 4 :	PRIME CONTRACTOR PAR TYPE ET NATIONALITÉ	47
TABLEAU N° 5 :	LANCEURS EN DÉVELOPPEMENT	48
TABLEAU N° 6 :	PETITS LANCEURS EN PROJET	52
TABLEAU N° 7 :	RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE DES LANCEURS EN PROJET	54
TABLEAU N° 8 :	CAPACITÉ EN LEO ET SSO DES LANCEURS EN PROJETS.....	54
TABLEAU N° 9 :	NOMBRE DE PETITS SATELLITES LANCÉS PAR LES PETITS LANCEURS OPÉRATIONNELS DE 2003 À 2018	65
TABLEAU N° 10 :	EXEMPLES DE DÉTECTION POSSIBLE EN FONCTION DE LA RÉOLUTION DES SATELLITES D'OBSERVATION	92
TABLEAU N° 11 :	TABLEAUX DES PRINCIPAUX CAPTEURS NATIONAUX RÉPONDANT À DES MISSIONS DE SSA / SST.....	119

Petits satellites – Petits lanceurs – PSPL

Rapport final

INTRODUCTION

Avec 455 satellites lancés – un record – et quasiment les 3/4 (319 très exactement) de moins de 250 kg, l'année 2017 peut être vue comme le début d'une nouvelle époque de l'occupation de l'espace¹. Fait encore plus marquant, 284 de ces petits satellites pèsent moins de 10 kg (voir figure 2).

Le développement de constellations est un des éléments marquants de cette augmentation remarquable et de l'explosion du nombre des cubesats. Les satellites d'observation de la Terre Flock de la société Planet² représentent ainsi à eux seuls presque la moitié de cette catégorie de moins de 10 kg avec 140 exemplaires lancés en 2017, dont 88 à l'occasion du tir de février par le lanceur indien PSLV.

Cette année 2017 marque donc à la fois le doublement du nombre annuel de satellites et la surreprésentation des plus légers d'entre eux par rapport à l'année 2016 avec une augmentation effective d'une cinquantaine de nanosats indépendamment des satellites Flock. L'année 2018 pourrait offrir une autre répartition par masses avec le début de déploiement de nouvelles constellations annoncées à plus ou moins longue échéance. Celles-ci comportent un nombre très variable de satellites de différentes masses³, mais en mars 2018, il n'y a pas encore de rupture avec – pour les constellations de petits satellites – la poursuite des lancements de 4 satellites Flock d'observation de la Terre mais aussi de 6 Lemur de Spire Global consacrés à l' AIS et la météo et de 4 satellites expérimentaux SpaceBee destinés à internet, en parallèle du lancement d'une vingtaine

¹ Depuis 1996, le nombre de tirs de fusées se situe entre 50 et 90 par an, avec la mise sur orbite de 100 à 250 satellites selon les années.

² En décembre 2017, le total des satellites Flock (et Dove) lancés depuis le premier exemplaire en avril 2013 est de 285 satellites, mais tous ne sont plus opérationnels.

³ Pour une récapitulation des projets envisagés à l'été 2017, voir l'article disponible à <https://www.fiercewireless.com/wireless/from-boeing-to-spacex-11-companies-looking-to-shake-up-satellite-space>

de nanosats⁴. Parmi les tirs attendus, figure Global-I de Black Sky⁵ qui représente une nouvelle génération de satellites d'observation de la Terre composée de 20 exemplaires de 55 kg⁶. Le schéma est tout autre pour les télécommunications en orbite basse avec One Web et ses 720 satellites de télécommunications de moins de 150 kg autorisés en attendant les 2 560 visés⁷. Sans parler de la constellation StarLink de Space-X, qui n'entre pas directement dans notre étude puisque ses 12 000 satellites ont une masse de l'ordre de 400 kg⁸, mais qui se traduira par de nouveaux équilibres quant au nombre et à la masse de satellites annuellement lancés.

Qu'en est-il du domaine des petits lanceurs qui compose l'autre volet de cette étude ? Quelle place tiennent-ils par rapport aux autres lanceurs ? Si l'on considère l'année 2017, sur les 319 petits satellites mis sur orbite, 20 % (64) l'ont été depuis la station spatiale internationale⁹, leur emport jusqu'à l'ISS étant effectué très largement par les vaisseaux de ravitaillement de toutes nationalités. Seulement 11 % (23 satellites très exactement) l'ont été par de petits lanceurs : deux américains et trois chinois¹⁰. Deux autres petits lanceurs, un japonais et un américain¹¹, ont par ailleurs connu un échec ce qui ne change guère les statistiques puisqu'ils n'emportaient qu'un petit satellite chacun. Les 232 satellites restants ont été embarqués sur 9 lanceurs de taille dite moyenne dont plus de la moitié (133) par le lanceur indien PSLV en deux tirs successifs.

Or il existe en 2017, 19 petits lanceurs disponibles dont 5 anciens correspondant à des missiles reconvertis¹². Parmi les 14 lanceurs mis en service depuis 2009, 9 sont consacrés au marché des petites charges, dont le lanceur européen Vega, le plus ancien à avoir été

⁴ Le 1^{er} trimestre 2018 a aussi vu pour les constellations composées de satellites de plus de 250 kg la mise sur orbite d'un satellite expérimental de la constellation Starlink, de 4 satellites O3b et de 10 satellites Iridium.

⁵ Les 4 premiers exemplaires construits à partir du satellite expérimental Pathfinder lancé en 2016 doivent être mis sur orbite en 2018.

⁶ Ces satellites s'ajoutent à l'ensemble des services fournis par différents satellites intégrés dans la plateforme d'information géospatiale Black Sky, le service dédié de Spaceflight Industries.
<https://www.blacksky.com/2018/03/06/blacksky-completes-its-first-next-generation-earth-imaging-smallsat-readies-for-launch-and-commercial-availability/>

⁷ OneWeb, déjà titulaire d'une licence d'exploitation par la FCC en juin 2017 pour le déploiement de 720 satellites, a soumis une première demande de 1 260 autres satellites puis une deuxième, en mars 2018, pour 1 200 satellites supplémentaires, *Space News*, 20 mars 2018.

⁸ Il serait intéressant de voir si ce poids plus élevé tient aux choix des paramètres techniques de la charge utile (assez proche des masses de Globalstar) ou à la volonté d'optimisation des lanceurs de la gamme Space-X.

⁹ Dans la base CosmosPSPL, ces satellites apparaissent avec la mention "none" pour le lanceur et la mention ISS pour la base de lancement afin de signaler leur singularité par rapport au marché des lanceurs.

¹⁰ Il s'agit des lanceurs Minotaur-C et Minotaur-IV pour les États-Unis et de CZ-6, Kuaizhou et KT-2 pour la Chine.

¹¹ Il s'agit respectivement d'Electron et de SS-520.

¹² 21 lanceurs sont considérés comme opérationnels dans la base CosmosPSPL à la date de février 2018, et 19 pour l'année 2017 dont 4 ont un statut ambigu : les 3 premiers arrivant en fin d'activité (Dnepr, Strela, KSLV-1) et le dernier, Simorgh, n'ayant pas réussi son premier essai, voir tableau 2 des petits lanceurs opérationnels.

développé à cette fin en 2010. Les 5 autres ont été conçus comme une première étape d'acquisition de compétences nationales d'accès à l'espace¹³ dans une démarche totalement étrangère à la réflexion actuelle sur le besoin de lancement de petits satellites.

L'année 2018 marque là encore un tournant avec les premiers tirs réussis, dès ce premier trimestre, de 2 systèmes répondant à de nouvelles approches, le lanceur Electron s'affichant comme un lanceur mini totalement nouveau, le nano lanceur SS 520 japonais représentant, lui, une optimisation de fusée-sonde.

Ce sentiment d'une période de transition est renforcé par le nombre important de petits lanceurs en développement (44 cas) et le total impressionnant de systèmes en projet (48 cas), même s'il est clair que beaucoup d'entre eux ne dépasseront pas le stade de la table à dessin.

Ainsi, pour apprécier le degré de réalité du changement dans le domaine des petits lanceurs, il faut s'interroger sur les logiques à l'œuvre et leurs spécificités. On peut noter que si l'on considère les projets en développement, le nombre de systèmes américains (19) l'emporte largement sur les systèmes européens (9). En revanche, de façon assez étonnante, il apparaît que les 15 projets nationaux d'États européens sont aussi nombreux que les projets américains. Certes, tous ces projets ne verront pas le jour¹⁴ mais leur répartition par type d'acteurs et la surreprésentation des Européens méritent un intérêt particulier.

L'argumentaire développé dans la proposition de cette étude faite au CSFRS en décembre 2015, à l'orée du phénomène, était qu'il convenait de se doter d'un outil permettant de suivre dans le temps le changement de paradigme annoncé dans l'occupation de l'espace et les nouveaux moyens d'y accéder. Si le "New Space" est sans aucun doute un acteur majeur de cette évolution, il faut aussi cependant prendre en compte la politique des États afin de mieux apprécier les implications sur l'espace européen. Un outil informatique a été spécialement conçu à cette fin de suivi en temps réel. Il se décompose en deux bases de données en ligne : l'une recense 1 217 petits satellites lancés entre le 1^{er} janvier 2003 et le 1^{er} janvier 2018, soit les 15 dernières années de l'activité spatiale, et l'autre regroupe 118 petits lanceurs opérationnels en février 2018 ainsi que les petits lanceurs en développement et en projet connus à cette date.

Ce rapport vise à produire une analyse de la base en dégagant les grands enjeux technologiques, industriels, politiques et stratégiques des tendances à l'œuvre dans le monde du spatial et leurs implications stratégiques globales afin de pouvoir informer la position française et européenne.

¹³ Iran (avec 3 versions), Corée du Sud, Corée du Nord.

¹⁴ Il faut aussi noter que l'on a parfois plusieurs petits lanceurs de tailles diverses pour une même entité ce qui rajoute à l'inflation des projets.

L'étude se compose de trois grandes parties. La première partie présente l'état des lieux à l'instant T, celui du 1^{er} trimestre 2018. Elle retrace les modalités de développement et d'usage des petits satellites et des petits lanceurs afin d'identifier les éléments actuels de rupture et de continuité. Une analyse comparative par pays et par missions comme par types de lanceurs permet d'appréhender les enjeux qui se dessinent.

La seconde partie se situe à deux niveaux. Elle étudie dans un premier temps les interrelations entre petits satellites et petits lanceurs en les replaçant dans une perspective historique afin de mieux comprendre les synergies envisagées (et peut-être rêvées). Elle envisage ensuite plus précisément les questions de sécurité spatiale et les implications stratégiques des programmes envisagés.

La troisième partie dresse les enseignements tirés des analyses précédentes pour établir un bilan global. Cet arrière-plan posé, les risques et opportunités qui s'offrent à la France et l'Europe sont envisagés à partir desquels sont examinées les perspectives possibles par l'établissement de trois grands scénarios.

Les documents graphiques mobilisés au fil du rapport sont générés automatiquement à partir de la base. Ils donnent au lecteur un aperçu des moyens disponibles pour poursuivre sa propre réflexion. Une dizaine de cartes et graphiques originaux ont été réalisés à titre de synthèse pour mieux donner à voir les résultats de l'étude.

I – État des lieux en janvier 2018

I.1 – Présentation de l'outil documentaire

La structuration du projet repose sur la constitution d'un outil d'analyse conçu comme une base de données documentaire sur les "petits satellites" lancés depuis 2003¹⁵ et les "petits lanceurs" développés, en cours de développement ou en projet. La base des petits satellites comprend tous les satellites de moins de 250 kg lancés depuis 2003 avec leurs lanceurs associés jusqu'au 31 décembre 2017. La base des petits lanceurs prend en compte les lanceurs d'une capacité inférieure à 2 tonnes en LEO, opérationnels, en développement ou en projet jusqu'à la date du 28 février 2018.

C'est sur ce socle que s'appuient les analyses présentées car il permet de mesurer la réalité et la pérennité des tendances dégagées, les ruptures technologiques, les discontinuités ou continuités d'approche et de multiplier les approches comparatives.

Cet instrument de travail, a été mis en ligne, avec accès réservé. Il est disponible à l'adresse suivante : <https://cosmospspl.org>¹⁶

I.1.1 – Caractéristiques générales

D'un point de vue technique, l'outil informatique a été élaboré en étroite liaison et après de multiples itérations entre les chercheurs et le concepteur de l'outil informatique selon le cahier des charges suivant :

Enjeux :

- ➔ Bâtir une solution hébergeant exhaustivement l'ensemble des informations choisies par l'équipe à propos des petits satellites et des petits lanceurs.
- ➔ Anticiper une potentielle disponibilité publique de ces données en ligne.

Contraintes :

- ➔ Structurelles :
 - ⇒ Il est impossible de convenir d'un formalisme adapté à l'ensemble des occurrences de la base. La variabilité des informations à disposition, la

¹⁵ 2003 est l'année du premier lancement de cubesat marquant un point d'inflexion incontestable dans une approche neuve du concept de satellite. Le cubesat est un standard pour une unité standardisée qui peut être combinée avec d'autres en fonction des besoins.

¹⁶ User : pspl ; pwd: rocket.

diversité des sources ne permettent pas de proposer un modèle de données relationnel traditionnel.

- ⇒ L'outil devra, au contraire, permettre à l'utilisateur de renseigner des champs hétérogènes selon les informations disponibles.
- ➔ Performances SCRUD (*search, create, read, update, delete*) :
 - ⇒ On attend une réactivité maximale sur les opérations de *create, search* et *read*.
 - ⇒ Aucune exigence de performance pour les *delete* et *update*.
- ➔ Sécurité :
 - ⇒ Une authentification simple des utilisateurs pour nourrir la base.
 - ⇒ Pas de nécessité de cryptage.
 - ⇒ Une lecture en ligne publique.
- ➔ Ergonomie.

Les interfaces d'administration et de consultation seront des clients Web.

La solution choisie en raison du caractère hétérogène des données et de l'impossibilité de formaliser un modèle traditionnel est celle d'une solution **Nosql**.

La structure la plus flexible est le modèle clef-valeur, organisé sous la forme d'arbres JSON dont la racine sera, pour chaque satellite, la nomenclature du tir et pour chaque lanceur le nom du véhicule.

Sur le plan méthodologique, l'outil a été documenté en utilisant une grande variété de sources différentes que nous pouvons lister rapidement :

- ➔ Médias dont *Space news, Space policy, Air&Cosmos, The Space Review* ainsi que la presse généraliste, technologique et économique en ligne quand c'était opportun ;
- ➔ Conférences ;
- ➔ Actes de colloque ;
- ➔ Communiqués de presse ;
- ➔ Sites web : Jonathan's Space Home Page¹⁷ ; Gunter's Space Page¹⁸ ; Union of Concerned Scientists (UCS) Satellite Database¹⁹ ; Russian space web²⁰ ;

¹⁷ <http://www.planet4589.org/space/>

¹⁸ <http://space.skyrocket.de/>

¹⁹ <https://www.ucsusa.org/nuclear-weapons/space-weapons/satellite-database#.Wq9tcOjOWUk>

²⁰ <http://www.russianspaceweb.com/>

Celestrack²¹ ; Encyclopedia Astronautica²², NewSpace and Space 4.0²³, Earth observation portal²⁴;

- ➔ Site des entreprises ou des opérateurs ;
- ➔ Sites des agences spatiales nationales.

Les liens d'un intérêt particulier sont intégrés dans la fiche du satellite ou du lanceur quand cela s'avère utile pour compléter l'information de l'utilisateur.

Outre les tris qui peuvent être réalisés et sont exploitables au travers de leurs interfaces graphiques, les utilisateurs de la base peuvent aussi, s'ils le souhaitent, faire une extraction Excel des données existantes et les intégrer dans leurs propres outils en fonction de leurs besoins.

L'anglais a été choisi comme langue de travail afin de favoriser les utilisations ultérieures de la base et de ne pas obérer sur sa potentielle diffusion qui reste à déterminer avec le comité de pilotage et le CSFRS.

Par ailleurs, en raison de la difficulté d'accès à certaines informations et pour tenir compte des évolutions futures, notamment en ce qui concerne les lanceurs, certains critères retenus ne sont que peu complétés actuellement (par exemple prix au kilogramme, état de lancement, date d'arrêt des programmes, etc.) mais peuvent facilement l'être au fil du temps dès lors que des données fiables sont disponibles.

1.1.2 – Éléments de définition : la notion de petits satellites

L'expression de "petits satellites" est couramment utilisée sans que soit fournie une définition précise. Selon les utilisateurs, les époques et le contexte dans lequel il est mobilisé, le terme renvoie à des réalités variées.

Pendant longtemps, un usage tacite distinguait les gros satellites (*large satellites*) d'une masse supérieure à la tonne, des satellites dits "moyens" (*medium satellites*) de 500 kg à 1 tonne et des petits satellites (*small sats*) inférieurs à 500 kg. Dans la pratique, cette répartition des satellites en fonction de leur masse n'était utilisée que par rapport au type de lanceur nécessaire pour leur mise en orbite, renvoyant ainsi à des notions de coût de fabrication et d'export.

Les travaux sur la mise en valeur de l'espace extra-atmosphérique utilisent peu la notion de masse comme critère de classement mais s'emploient plutôt à classer les satellites

²¹ <https://www.celestrak.com/satcat/search.asp>

²² <http://www.astronautix.com/>

²³ <http://www.newspace.im/>

²⁴ <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions>

par types d'orbite, par inclinaisons et par missions²⁵. Il apparaît alors que la question de la masse ne se pose pas pour l'orbite géostationnaire ou pour l'orbite Molnya, les deux étant occupées par des satellites largement plus lourds qu'une tonne. Quant aux orbites MEO et LEO, ce sont les missions qui déterminent traditionnellement la masse du satellite. Ainsi les satellites militaires de reconnaissance ont traditionnellement des masses très importantes à cause de la taille du télescope ou du radar embarqués ainsi que des ressources en ergols lui assurant manœuvres et maintien à poste. Les satellites civils d'observation de la Terre sont *a minima* proches de la tonne, les satellites de moins de 500 kg étant plutôt spécialisés dans l'analyse scientifique de l'environnement terrestre. Enfin, on trouve parmi les plus légers de nombreux satellites technologiques servant à des tests qui sont souvent emportés comme charge complémentaire.

En fait, la notion de petits satellites ne devient véritablement un objet d'intérêt que dans les années 1990 avec le mantra de la NASA à l'ère Goldin "*smaller, faster, cheaper*" appliqué à l'exploration spatiale. Les échecs rencontrés terniront cette image même si quelques filières ont survécu. En parallèle, les ambitions du DoD en termes de maintien d'un gap technologique avec le reste du monde dans le cadre des usages décuplés de l'espace comme ossature de la sécurité nationale et les nouveaux programmes envisagés se sont traduits par le développement des financements de la DARPA stimulant la recherche universitaire depuis le milieu des années 1980 et donnant lieu à de premiers développements industriels.

Au tournant des années 2000, l'expression « petits satellites » reste floue. Ses connotations renvoient essentiellement à leur moindre coût de fabrication et de lancement. Elle ne sera que progressivement précisée avec la miniaturisation croissante des systèmes. C'est en particulier l'apparition, au milieu des années 2000, d'une classe de satellites d'une masse inférieure à 10 kg qui déclenche un nouveau regard des analystes. Les "petits satellites" recouvrent alors une catégorie générique subdivisée en différentes classes :

- ➔ mini-satellite : 100 kg à 500 kg (Wet mass*) ;
- ➔ micro-satellite : 10 kg à 100 kg (Wet mass*) ;
- ➔ nano-satellite : 1 kg à 10 kg (Wet mass*) ;
- ➔ pico-satellite : 100 g à 1 kg ;
- ➔ femto-satellite : 10 g à 100 g.

* *including fuel*.

La catégorie la plus connue reste celle des cubesats qui représentent l'essentiel de la catégorie des nano-sats puisque en janvier 2018, ils sont 811 sur un total de 877 nanosats²⁶.

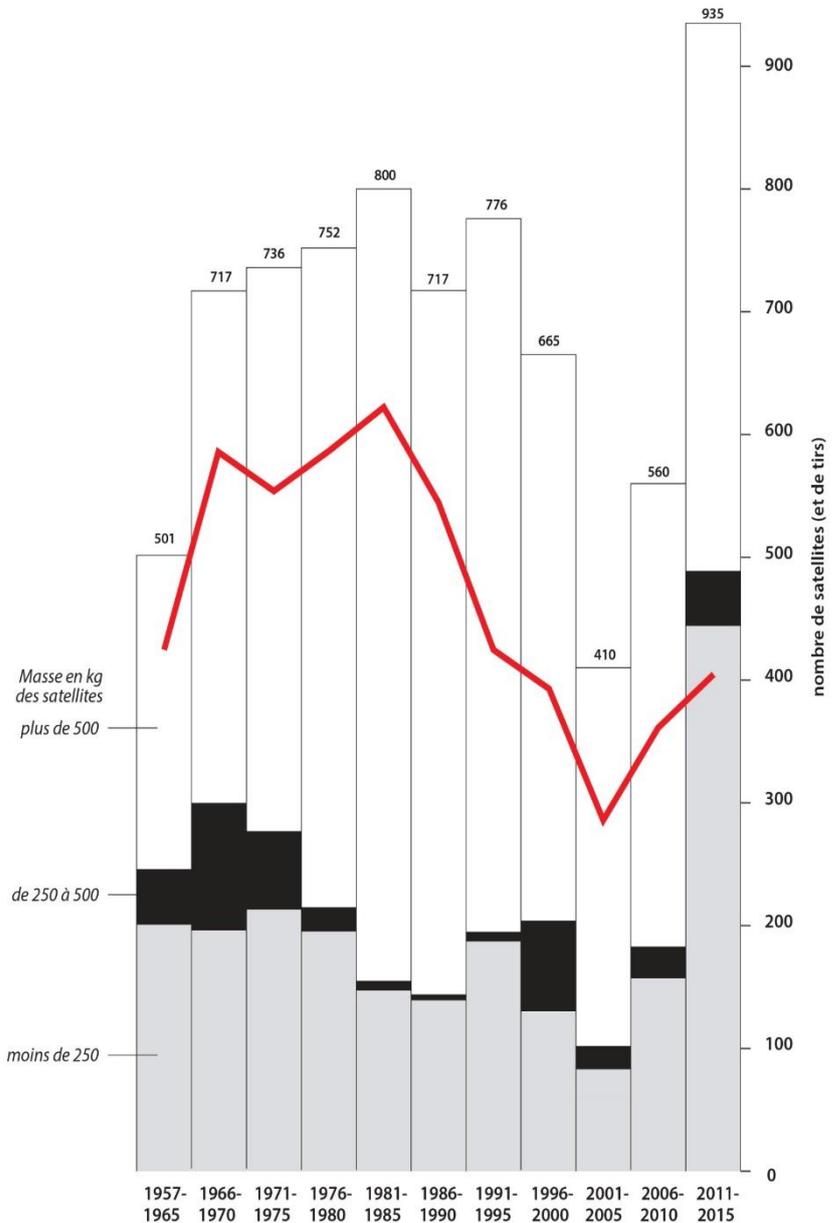
²⁵ *L'espace, nouveau territoire – Atlas des satellites et des politiques spatiales*, F. Verger dir., Belin 2002.

²⁶ <http://www.nanosats.eu/>

Figure n° 1 : RÉPARTITION PAR MASSES DES SATELLITES LANCÉS DE 1957 À 2015 PAR TRANCHES DE 5 ANS

Cette catégorisation ne fait cependant l'unanimité que pour les plus petites classes. La littérature est en effet beaucoup moins précise concernant la limite haute des "petits" satellites. Globalement, celle-ci varie le plus souvent entre 250 et 500 kg, la NASA mettant même la barre à 180 kg²⁷.

Dans la mesure où notre étude vise à mieux cerner les différentes réalités du concept de petits satellites, entendu cette fois comme l'ensemble de la catégorie, il était essentiel de comprendre les raisons servant aux auteurs à fixer leurs seuils. Nous avons donc choisi de nous référer à la réalité des lancements depuis 1957 en les regroupant par tranches de 5 ans et par masses. Le graphique ci-contre (figure 1) s'attache à montrer la part relative des satellites dans la fourchette particulière des 250 à 500 kg²⁸.



L'analyse de ce graphique est particulièrement instructive puisque l'on constate que la part des satellites de 250-500 kg est tout à fait variable selon les époques. Leur importance est d'abord historique puisqu'ils sont présents de façon assez stable dans la période 1957-1975. On ne retrouve ensuite une présence significative que dans la période 1996-

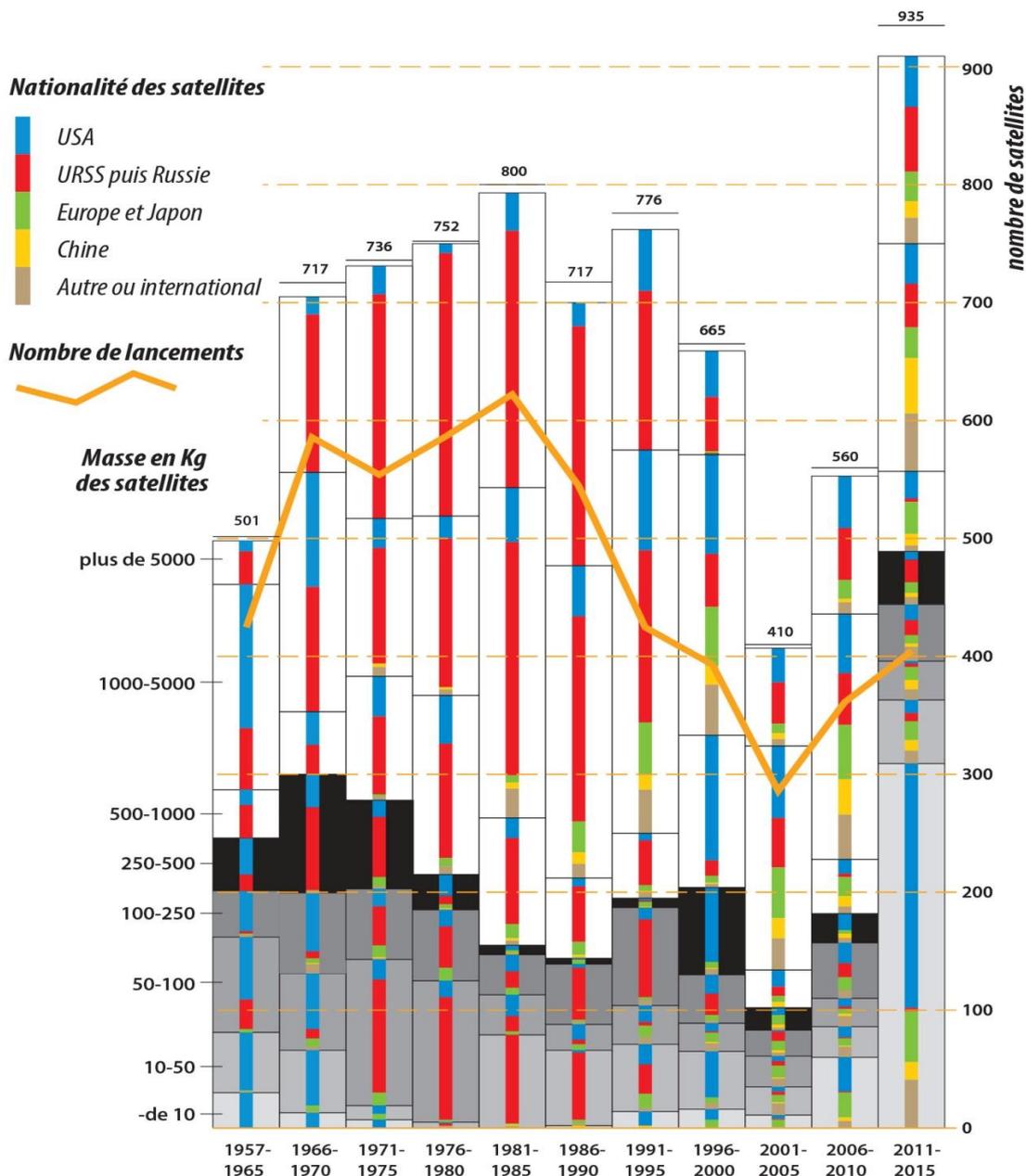
²⁷ <https://www.nasa.gov/content/what-are-smallsats-and-cubesats>

²⁸ Nous avons délibérément choisi de monter à 250 kg la limite basse, soit 70 kg de plus que celle de la NASA pour rester cohérent avec les choix faits par la plupart des auteurs.

2000, et à un degré bien moindre les années suivantes, une légère remontée se manifestant depuis 2010.

Ce graphique prend toute sa valeur si on le réfère à la planche générale des satellites lancés par masses et par pays pour la même période (figure 2).

Figure n° 2 : RÉPARTITION DES SATELLITES LANCÉS PAR MASSES ET PAR PAYS DE 1957 À 2015



On constate alors que cette tranche bien spécifique des 250-500 kg concerne majoritairement les Américains pendant les 5 premières années puis les Soviétiques du milieu des

années 1960 au milieu des années 1970²⁹. Si l'on prend en compte les missions, il apparaît que cette importance particulière s'explique par la mise sur orbite de satellites civils et militaires de la famille Kosmos par le lanceur du même nom. On peut noter au passage que c'est la première apparition d'une philosophie d'intégration avec comme objectif une limitation des coûts grâce à une production en série, une approche dictée par les financements limités du système soviétique. Les satellites entre 250 et 500 kg sont ensuite de moins en moins représentés jusqu'au pic américain du milieu des années 1990 correspondant à un programme bien spécifique, celui des satellites de télécommunications Globalstar, dont la masse va progressivement augmenter ensuite, au moins pour une partie de la constellation.

La légère augmentation des années 2010 signe ensuite une diversification croissante, tant des acteurs que des missions avec une dizaine de satellites lancés annuellement. Il est à prévoir un nouveau pic de cette tranche des 250-500 kg avec la mise en œuvre de la constellation Starlink.

La particularité des cas représentés dans cette catégorie des 250-500 kg nous a donc conduits à garder la définition la plus courante des petits satellites i.e. inférieurs à 250 kg³⁰.

1.1.3 – Éléments de définition : la notion de petits lanceurs

La classification des lanceurs est délicate, car leur performance en termes de masse en orbite dépend de multiples facteurs. Il est cependant assez généralement admis dans la littérature qu'une masse au décollage inférieure à 300 tonnes caractérise un lanceur comme petit. Une classification fréquente propose 5 dénominations :

- ➔ Ultra-Heavy : masse au décollage supérieure à 1 000 tonnes ;
- ➔ Heavy : masse au décollage entre 500 et 1 000 tonnes ;
- ➔ Medium : masse au décollage entre 300 et 500 tonnes ;
- ➔ Light : masse au décollage entre 100 et 300 tonnes ;
- ➔ Very Light : masse au décollage inférieure à 100 tonnes.

Cependant, nous avons choisi de corréliser ce critère avec la capacité d'emport selon l'orbite visée. Ainsi, n'ont été retenus que les lanceurs ayant une capacité de charge utile

²⁹ Il s'agit au début essentiellement de sondes soviétiques Luna et américaines Ranger, ainsi que de satellites expérimentaux de la famille Kosmos mis sur orbite basse par le lanceur du même nom signant ainsi pour la première fois une philosophie d'intégration avec un objectif de limitation des coûts, une approche dictée par les financements limités du système soviétique comparés aux budgets américains.

³⁰ Ce choix a été validé par le comité de pilotage de l'étude.

inférieure à 2 000 kg en orbite basse (LEO) et sans capacité en orbite géostationnaire. Dans ce cas de figure, les lanceurs sont classés alors selon les subdivisions suivantes³¹ :

- ➔ Micro lanceur : capacité ≤ à 500 kg ;
- ➔ Petit lanceur : capacité de 501 kg à 2 tonnes ;
- ➔ Lanceur moyen : capacité de 2 tonnes à 20 tonnes ;
- ➔ Lanceur lourd : capacité > à 20 tonnes.

Pour autant, ces classifications ne semblent plus refléter la réalité des développements des petits lanceurs qui, à l'intérieur du critère petit, peuvent se révéler très différents. Pour les besoins de l'analyse, l'équipe de recherche a donc choisi d'affiner cette classification selon les critères suivants :

- ➔ Nano lanceur : capacité de 0 à 10 kg en LEO ;
- ➔ Micro lanceur : capacité de 11 à 100 kg en LEO ;
- ➔ Mini lanceur : capacité de 101 à 500 kg en LEO ;
- ➔ Petit lanceur : capacité de 501-2 000 kg en LEO.

De même, nous avons choisi de ne pas faire figurer dans la base les petits lanceurs historiques mais seulement ceux qui sont opérationnels, en développement ou en projet en mars 2018 afin de permettre l'étude des logiques en œuvre, qu'elles soient contemporaines ou futures. Un tableau, en annexe I, présente, sur une base chronologique, les petits lanceurs qui ont été opérationnels ou simplement en projet puis abandonnés depuis 1957, afin de permettre une mise en perspective historique du rôle et de l'intérêt passé de ce type de système.

1.1.4 – Mode d'emploi

Les critères qui ont été choisis sont tout à fait classiques par rapport aux bases de données existantes sur le web. La base Cosmo脾spl a été construite à partir des données dont l'équipe de recherche disposait déjà et qui ont été complétées et rendues homogènes afin de permettre les tris dans les colonnes et l'établissement automatique d'illustrations graphiques. La principale originalité est, en effet, la qualité d'instrument de travail. Elle se retrouve par exemple dans l'existence de notes signalées par un * et la couleur rouge des caractères et qui peuvent être ouvertes à partir du clic droit de la souris.

Quelques instruments permettent un usage plus convivial de la base :



³¹ Voir par exemple : Timo Wekerle, José Bezerra Pessoa Filho, Luís Eduardo Vergueiro Loures da Costa, Luís Gonzaga Trabasso, « Status and Trends of Smallsats and Their Launch Vehicles – An Up-to-date Review », *Aerosp. Technol. Manag.* vol.9 no.3 São José dos Campos July/Sept. 2017, pp. 269-286.

Un clic sur la première icône permet de générer des histogrammes en fonction de choix proposés correspondant aux différentes rubriques de la base. Dans le cas de la base satellites, ces graphiques sont chronologiques. Ils peuvent être à double entrée libre dans le cas de la base lanceurs. Les mêmes données peuvent figurer sur un planisphère en utilisant la deuxième icône. La troisième icône permet de masquer les colonnes inutiles afin de faciliter la lecture. L'usage de la quatrième icône permet l'extraction éventuelle des données sélectionnées qui peuvent être directement copiées telles quelles sur le bureau via la cinquième icône. Il existe enfin une option pour imprimer les choix.

Le lecteur peut ainsi effectuer ses propres recherches en inscrivant dans la colonne choisie (voir listes des critères ci-dessous), l'indicateur qu'il souhaite. Il lui est possible de capturer l'illustration ouverte dans la fenêtre dédiée et de la coller dans un document via ou non le bureau. Cependant, alors que les valeurs exactes apparaissent sur le graphique ouvert dans la base en passant la souris, elles ne sont pas exportables dans un document tiers à la différence des tableaux qui peuvent être exportés sous Excel.

► Les critères retenus pour la base petits satellites

COSPAR num	Class of Orbit
Name of Satellite	Type of orbit
Launch date	Apogee
Launch site	Perigee
Launch State	Period
Launch vehicle	Inclination
Country of owner/operator	Launch mass
Owner/Operator type	End of operation
Name of owner/operator	Decay
Mission	Notes
Detailed purpose	Web links
Users	

Il convient d'apporter quelques précisions afin de faciliter la compréhension et l'usage de la base sur certains des critères.

- La numérotation COSPAR indique l'année puis le rang. Elle correspond à un enregistrement effectué sur une base volontaire auprès du *Committee on Space Research* créé en 1958, et qui a pour mission spécifique le suivi de la recherche spatiale au sein du Conseil international des Unions scientifiques. Dans le contexte politique très sensible de la Guerre froide et de la rivalité Est-Ouest, il permet de poursuivre la coopération scientifique dans un cadre considéré comme neutre. C'est lui qui prend donc en charge la gestion des *World Data*

Centers, un groupe de travail étant plus particulièrement consacré à l'échange des informations et des données sur les fusées et les satellites³².

Par convention, les satellites lancés depuis l'ISS ont un numéro qui commence par 1998, l'année d'enregistrement des premiers modules de l'ISS puisqu'il s'agit en quelque sorte d'un lancement secondaire. Il y a une rupture ensuite jusqu'aux numéros commençant par 2003 puisque c'est la date de départ choisie pour la base et correspondant au lancement du premier cubesat.

- ➔ La date de lancement est celle de la mise sur orbite effective du satellite et non du départ de la base de lancement, un cas qui concerne les satellites lancés depuis l'ISS et les sous-satellites, c'est-à-dire ceux qui ne sont pas mis sur orbite directement par un lanceur mais par un autre satellite ou un vaisseau desservant la Station.
- ➔ La notion de site de lancement est étendue en dehors des bases terrestres puisque l'ISS y figure lorsque les satellites ont été mis sur orbite depuis sa plate-forme. Dans le cas particulier d'un sous-satellite, une caractéristique toujours précisée à la suite de son nom, c'est le nom du satellite qui l'a éjecté qui apparaît. La logique est la même dans le cas de sous-sous-satellite, une catégorie rare mais qui existe néanmoins. Des notes toujours signalées par * précisent les lanceurs initiaux.
- ➔ L'état de lancement est celui qui assume la responsabilité du tir. Dans le cas d'un lancement depuis la station, il a été décidé de mentionner "international" afin de préserver la singularité de ces cas particuliers.
- ➔ La colonne lanceur contient aussi un élément atypique, à savoir la mention *none* correspondant toujours au cas des satellites lancés depuis l'ISS. Une note précise le type de lanceur et la date d'emport à la station.
- ➔ Un effort particulier a été fait pour l'identification de la nature des charges et des propriétaires/opérateurs en distinguant civils/militaires ; commerciaux ou publics ; et le type d'instance gouvernementale concernée.
- ➔ Concernant les missions, il a été décidé de les regrouper en quelques catégories assez précises comme cela apparaît sur le graphique généré ci-dessous.

³² À cette date, les désignations fonctionnent sur un système dit « d'Harvard », si bien que Spoutnik-1 ouvre l'année 1957 avec le numéro 1957- α -2, suivi de Spoutnik-2 (1957- β -1). Le choix d'une lettre grecque pour désigner l'ordre de lancement dans l'année suppose que le nombre de lancements attendus dans le futur proche soit relativement limité pour que le système reste pratique. En mai 1962, le 5^{ème} Meeting du COSPAR à Washington décide du remplacement des lettres par les chiffres arabes, une modification publiée dans le Bulletin d'information qui sert ensuite de référence à partir du 1^{er} janvier 1963.

Figure n° 3 : PETITS SATELLITES LANCÉS DE 2003 À 2017 PAR MISSIONS

Datas selected on Chart

x



Le choix de faire apparaître des catégories hybrides (voire inattendues) a été fait afin de permettre une vision plus fine des missions réalisées, en particulier lorsque le satellite remplit simultanément plusieurs missions et d'éviter ainsi les inconvénients d'un lissage trop restrictif. Des précisions complémentaires sur la mission sont aussi fournies dans la rubrique "*detailed purpose*".

- ➔ La catégorie des utilisateurs est relativement hétérogène, afin d'éviter de gommer les spécificités nationales. On peut toutefois obtenir des tris simplifiés en sélectionnant des mots clefs tels que public, agence ou commercial.
- ➔ Les autres rubriques sont fournies par rapport à la date de saisie de la base dont la dernière actualisation remonte à décembre 2017. Toutes ne sont pas remplies, les données n'étant pas disponibles. Ce déficit est indiqué dans les tris sous forme de cases blanches.

► **Les critères retenus pour la base petits lanceurs**

Launch vehicle name	Number of stages
Type	Reusable components
Status	Propulsion
Date retired	Link with missile
Date released	Missile name
Country of origin	Links with sounding rocket
Cooperation	Launch method
Operator	Launch Locations
Contracting Authority	Capacities LEO (kg)
Type CA	Capacities SSO (kg)
Prime Contractor	Launch Costs
Type prime contractor	Total launched mass
Owner(s)	Comments
Type owner	Documentations
Year first operational launch	Web links
Year first successful test	

Au-delà des critères classiques, l'équipe a choisi de mentionner les liens potentiels avec les missiles en raison des analyses d'impact du développement des petits lanceurs sur la sécurité internationale, un aspect qui sera développé dans la suite de l'étude. Comme pour la base satellite toutes les cases ne sont pas remplies, les données n'étant pas disponibles. Ce déficit est indiqué dans les tris sous forme de cases blanches.

1.2 – État des lieux de l'occupation de l'espace par les petits satellites

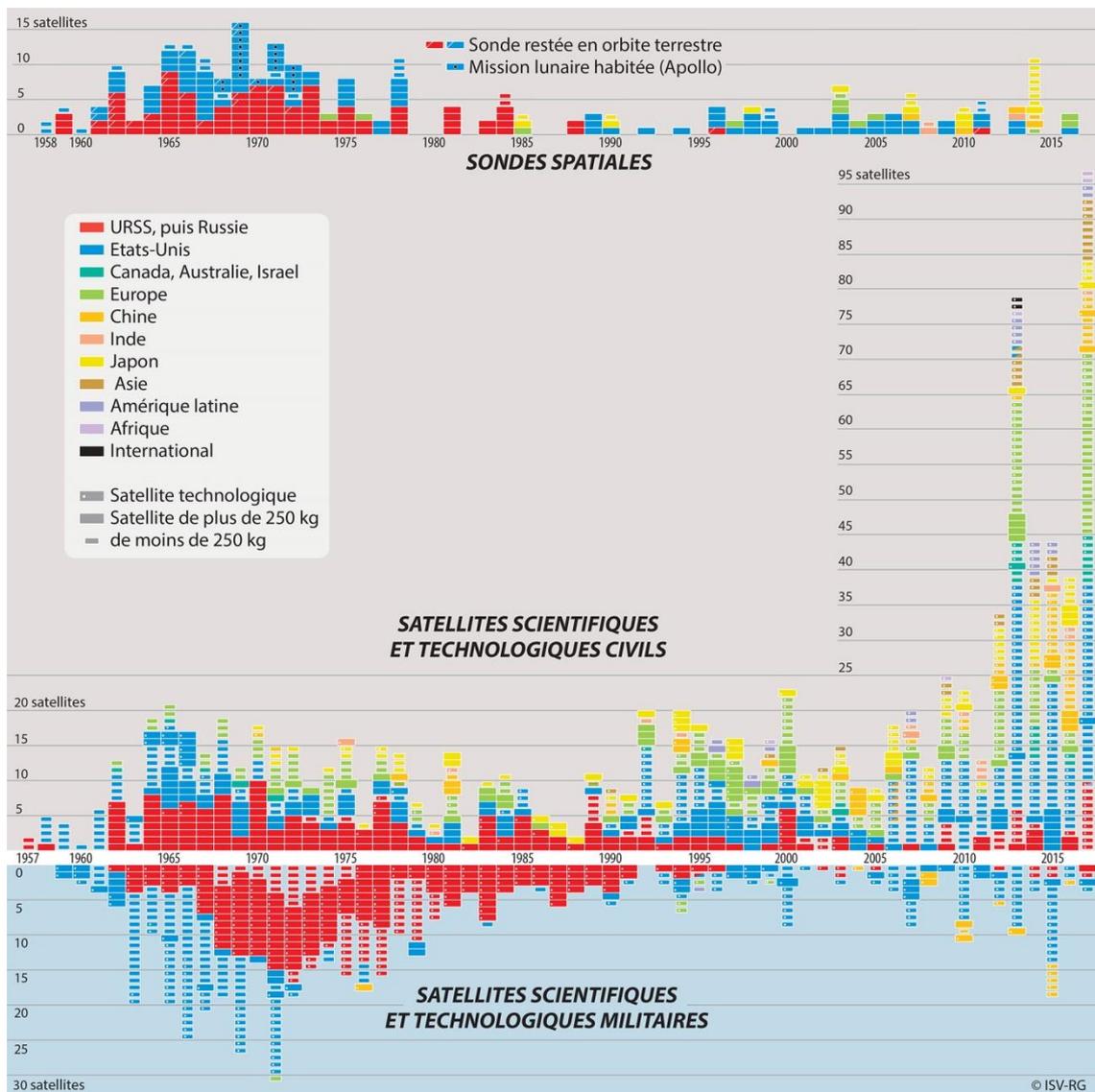
1.2.1 – Évolution des usages des petits satellites – le cas des satellites scientifiques et technologiques civils et militaires

La catégorie des petits satellites scientifiques et technologiques mérite une attention particulière puisque ceux-ci sont historiquement les plus anciens. En effet, de même que les petits lanceurs représentent une étape incontournable pour accéder à l'espace, les satellites se trouvent contraints par la capacité de ces lanceurs et les limites tant technologiques que de budget des premiers systèmes. Ainsi, les nouveaux venus du club spatial se caractérisent tous par la mise sur orbite de premiers satellites scientifiques et technologiques de faible masse, y compris quand ils sont lancés par un pays tiers, qu'il s'agisse des pays européens puis de l'Europe, du Japon, de la Chine ou de l'Inde.

L'analyse du graphique retraçant l'évolution des satellites lancés par nationalités et par masses de 1957 à 2017 (figure 4) montre bien aussi les profondes différences de culture technique et de capacités industrielles entre Russes et Américains. Sans entrer dans une

étude détaillée du graphique jusqu'aux années 2000 que l'on peut trouver ailleurs³³, il faut souligner la place majoritaire des systèmes américains tenant au départ à la moindre capacité de leurs lanceurs mais aussi, et très vite surtout, à leur capacité précoce de miniaturisation. Ce phénomène concerne aussi bien les systèmes civils que militaires américains, les satellites soviétiques de moins de 250 kg étant, eux, exclusivement militaires conformément à la nature du spatial soviétique totalement intégré dans le complexe militaro-industriel.

**Figure n° 4 : SATELLITES S&T LANCÉS DE 1957 À 2017
PAR MASSES ET PAR NATIONALITÉS**



³³ *L'espace nouveau territoire, atlas des satellites et des politiques spatiales*, F. Verger dir., Belin 2002.

L'apparition d'une nouvelle logique se met en place au début des années 1980 à l'initiative de jeunes ingénieurs de l'université du Surrey qui utilisent des composants commerciaux déjà sur étagère (COTS) pour leur premier satellite lancé par la NASA. La croissance progressive des petits satellites à partir des années 1990 (voir aussi figures 1 et 2) est largement portée par la popularisation des UoSAT (*University of Surrey SATELLITE*), une plate-forme développée par la compagnie Surrey Satellite Technology Ltd créée en 1985 et proposant des satellites standardisés d'une masse de 150 kg à un prix accessible pour des utilisateurs non commerciaux : radioamateurs, universités, agences publiques de pays s'initiant aux activités spatiales. Avec plus de 50 satellites vendus à 17 États (pays européens et ESA, Corée du Sud, Thaïlande, Chili, Malaisie, Chine, États-Unis dont US Air Force, Algérie, Turquie, Nigéria, Russie, Canada, Kazakhstan)³⁴, la société démontre le potentiel d'une approche à moindre coût, le lancement pouvant même être proposé par un intermédiaire, Commercial Space Technologies assurant le lancement sur de petits lanceurs russes³⁵.

L'essor des petits satellites à partir de 2003 marque une nouvelle étape s'inscrivant dans la logique précédente mais systématisée et développée à grande échelle du fait de l'émergence des cubesats qui se caractérisent par une complète standardisation de la plate-forme et de ses composants permettant une baisse des coûts du fait d'une possible production dédiée. Leur utilisation a servi au développement de la première constellation d'observation de la Terre à haute résolution avec une capacité de couverture globale en 24h assurée par 200 satellites de 5 kg chacun. Les images de Planet³⁶ représentent ainsi une véritable rupture aussi bien dans les usages des satellites accessibles gratuitement pour les scientifiques que par leur impact global en termes de transparence et plus largement de sécurité internationale (voir partie 2.).

Le graphique ci-dessous (figure 5) montre l'évolution de la place relative des différents types de petits satellites depuis 1996. Si la place tenue par les cubesats est de loin la plus importante, la gamme des microsatsellites, généralement architecturés autour de plates-formes dédiées, a également connu un développement notable, bien que moins spectaculaire.

La gamme des mini-satellites de masse supérieure à 120 kg (en bleu) demeure relativement stable. Elle concerne en général des applications plus exigeantes en termes de performances.

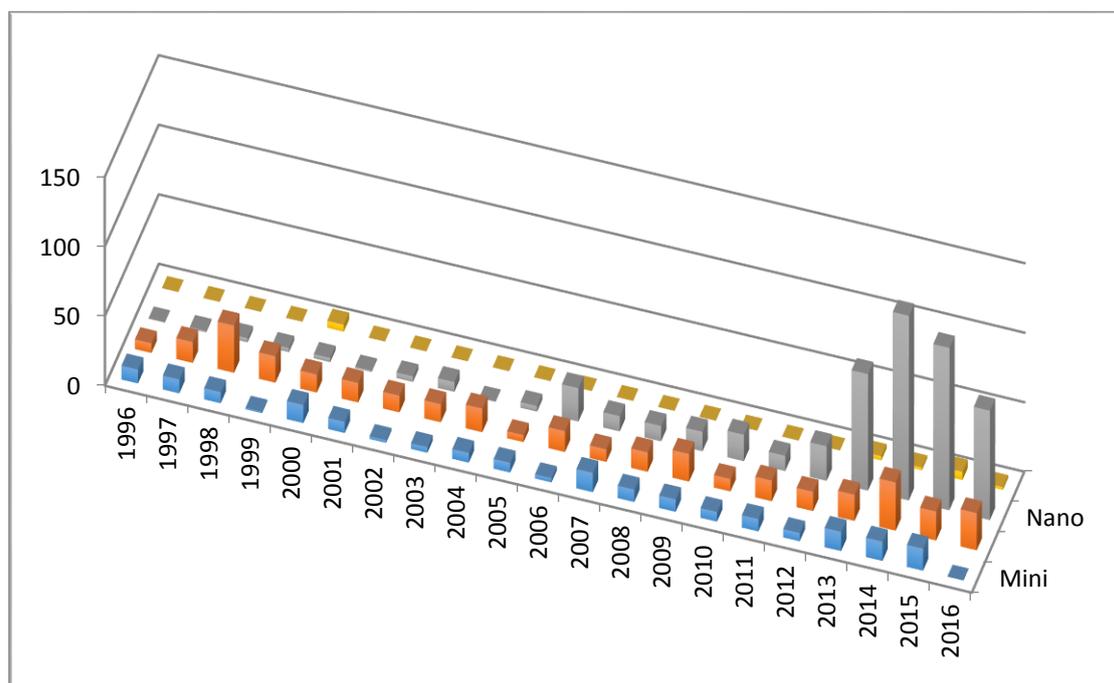
En revanche, la classe des pico-satellites de masse inférieure à 1 kg (en jaune) demeure anecdotique.

³⁴ <https://www.sstl.co.uk/Missions/SSTL-Missions-Heritage>

³⁵ <http://commercialspace.co.uk/wp-content/uploads/2017/07/Launch-Brokerage-2017.pdf>

³⁶ Initialement Cosmogia Inc. fondée en 2010 par des scientifiques et des ingénieurs de Ames (NASA), la société a successivement racheté la société allemande BlackBridge propriétaire des satellites RapidEye puis la société Terra Bella, anciennement Skybox Imaging, acquis par Google en 2014.

Figure n° 5 : MASSES DES PETITS SATELLITES LANCÉS DEPUIS 1996



1.2.2 – Répartition géographique des propriétaires des petits satellites

La répartition géographique des petits satellites par nationalités de leurs opérateurs est étudiée de façon détaillée dans la partie scénarios de l'étude (partie 3) puisqu'elle conditionne largement le cadre dans lequel la France et l'Europe doivent se positionner (voir figure 49).

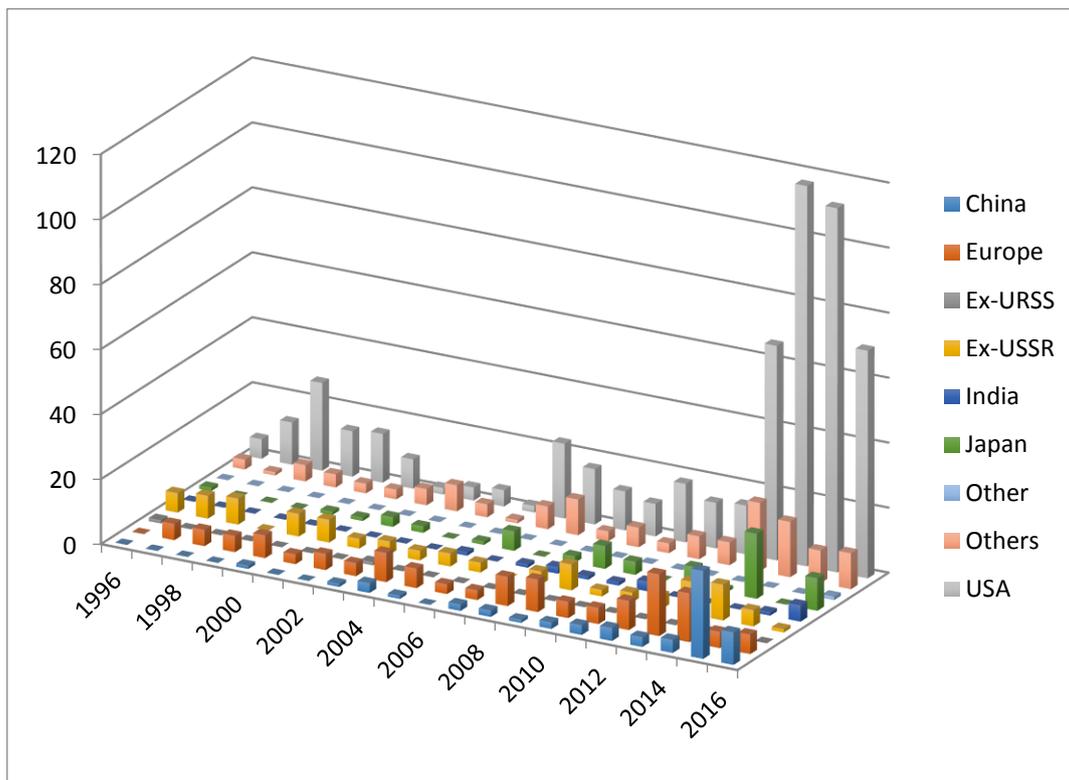
Le graphique retraçant l'évolution depuis 1996 (figure 6) et le planisphère issu de la base (figure 7)³⁷ permettent cependant déjà de présenter quelques grands traits. Comme le montre le graphique ci-dessous, l'essentiel de la croissance de ce marché trouve son origine aux États-Unis.

On note également un développement de l'activité auprès de nouveaux entrants qui trouvent ainsi l'opportunité d'accéder à des applications spatiales de manière autonome en s'affranchissant des barrières technologiques qui restreignaient jusqu'alors leurs ambitions dans ce domaine.

L'intérêt des autres puissances spatiales établies telles que l'Europe, le Japon, la Chine ou l'Inde tend à croître également dans la période récente, bien que dans une moindre mesure par rapport au phénomène observé aux États-Unis.

³⁷ Le total des satellites est disponible dans la base Cosmospspl en cliquant sur chaque rond.

Figure n° 6 : PETITS SATELLITES PAR NATIONALITÉS DEPUIS 1996



Le planisphère permet de préciser la situation actuelle par nationalités des opérateurs. Les fiches pays qui figurent en partie 3 analysent plus en détail les caractéristiques de ces politiques nationales et leurs différences fondamentales.

On note ainsi :

- ➔ la place historique incomparable des États-Unis avec 705 satellites depuis 2003, soit plus de la moitié des satellites lancés ;
- ➔ la seconde place tenue par l'Europe (145 satellites) si on additionne l'activité nationale de tous les États concernés même si c'est de façon inégale, (l'Allemagne étant en tête avec 31 satellites, la France et l'Italie venant en second avec 18 et 17 satellites) avec celle des entités européennes, (voir figure 48, partie 3) ;
- ➔ la place comparable de la Chine, de la Russie et du Japon avec respectivement 89, 70 et 69 satellites ;
- ➔ l'existence d'un groupe de pays possédant entre 20 et 9 satellites soit, dans l'ordre décroissant, le Canada, l'Inde, Singapour, la Corée du Sud, Taiwan, Argentine ;
- ➔ le restant possédant 7-6-5-4 satellites (Iran, Turquie, Israël, Brésil, Arabie saoudite, Algérie, Australie, Pérou, Afrique du sud..), 3-2 satellites (Nigéria, Vietnam, Indonésie, Émirats arabes unis, Malaisie, Equator, Chili...) ou 1 satellite (Ghana, Irak, Philippines, Bangladesh, Uruguay).

Pris dans son ensemble, et même si les seuils ne sont qu'indicatifs pour les pays possédant moins de 10 satellites, le phénomène témoigne donc de la diversité des logiques à l'œuvre dans la possession de petits satellites, avec deux cas totalement distincts, celui des premiers satellites nationaux pour des pays qui ne sont présents qu'à la marge dans l'activité spatiale, et celui des pays très présents, voire moteurs, dans ce nouveau domaine d'activité.

Figure n° 7 : RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE DES PETITS SATELLITES LANCÉS DE 2003 À 2018



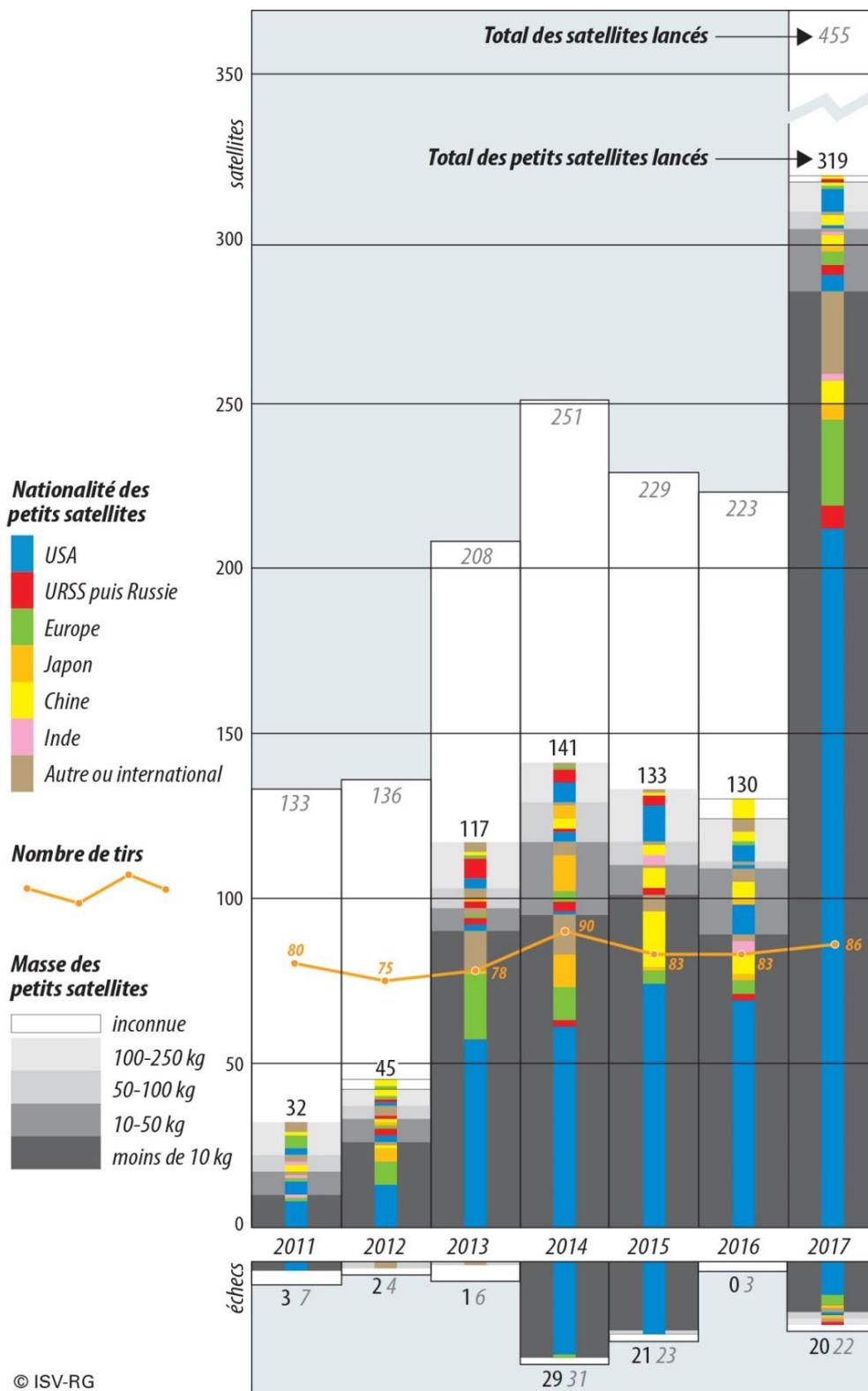
Si l'on s'attache plus particulièrement aux 7 dernières années 2011-2018 (voir figure 8), on note le maintien dans quasiment toutes les catégories de la présence américaine, une présence significative de l'Europe, la réapparition de petits satellites russes, la présence croissante des petits satellites chinois, la concentration des satellites japonais dans la gamme des cubesats et la présence non négligeable dans cette même gamme de plusieurs pays associés à des programmes scientifiques ou technologiques.

1.2.3 – Répartition par type d'utilisateurs

Il est également intéressant de considérer les types de client ou d'utilisateur qui s'intéressent aux nouvelles possibilités offertes par les petits satellites. La consultation de la base Cosmospspl permet de disposer des chiffres exacts, les commentaires ci-après ne visant qu'à faire une synthèse des points marquants.

Les propriétaires des petits satellites peuvent être des universités, des organisations étatiques : agences spatiales civiles, militaires ou autres entités publiques, organismes de météorologie, ou des clients privés (opérateurs de télécommunications ou d'imagerie spatiale, industrie spatiale manufacturière).

Figure n° 8 : NATIONALITÉS DES PROPRIÉTAIRES DE PETITS SATELLITES LANCÉS DE 2011 À 2018

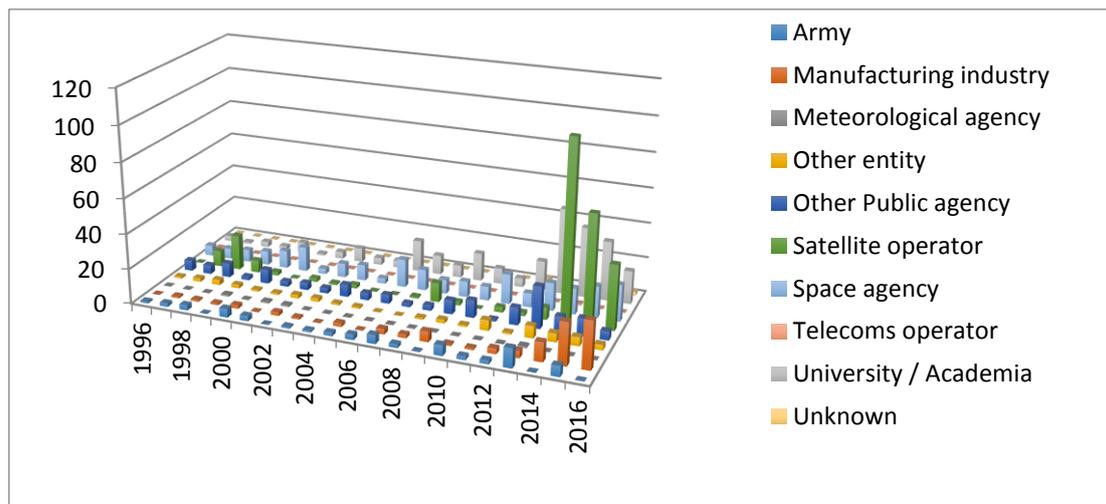


L'analyse de la figure 9 permet de dégager quelques tendances :

- ➔ La continuité de l'intérêt manifesté par des entités soucieuses d'expérimentations à des titres divers comme les universités qui possèdent 30 % des petits satellites et les agences spatiales (18 %), les militaires ne représentant que 8 % du total ;
- ➔ La part désormais importante du secteur privé avec presque la moitié des satellites lancés, principalement liée à l'apparition récente des nouveaux opérateurs de satellites, les exploitants traditionnels d'infrastructures spatiales (opérateurs télécoms et météo) n'ayant encore qu'un intérêt limité.

L'essentiel de la croissance est donc lié à de nouveaux entrants, essentiellement des universités ou des opérateurs spécialisés, ainsi que l'industrie spatiale manufacturière, motivée par les possibilités offertes en matière de démonstration technologique.

Figure n° 9 : RÉPARTITION DES PETITS SATELLITES LANCÉS DE 1996 À 2016 PAR TYPES D'ENTITÉS



1.2.4 – Caractérisation de la demande

La demande sur ce segment de marché comprend deux composantes assez différentes selon qu'il s'agit de clients publics ou privés. La comparaison des différents graphiques et planisphères présentés ci-après permet de constater :

- ➔ la part toujours exceptionnelle des acteurs américains dans la durée mais avec une notable accélération et ce quel que soit le type d'acteur : agence (spatiale et autre), universités, monde militaire ;
- ➔ la présence moindre mais relativement ancienne de l'Europe et du Japon qui tendent à être dépassés par l'accélération de la Chine ;

- ➔ le maintien d'une présence russe héritée d'une culture très ancienne de l'usage des petits satellites à des fins d'expérimentation dans les universités ;
- ➔ la discrétion de l'Inde finalement très peu présente sur ce secteur, sans doute du fait de l'hégémonie de l'ISRO mais qui devrait évoluer avec le développement de formations universitaires et technologiques désormais soutenues par l'Agence ;
- ➔ les fiches pays présentées en annexe reprennent ces caractères nationaux spécifiques en les replaçant dans leur contexte politique et organisationnel.

A.- Principaux clients publics

Du côté des États, l'intérêt pour les petits satellites est assez ancien, même si on peut noter sur le graphique ci-dessous (figure 10) que celui-ci s'est fortement développé ces dernières années. Sont également comptabilisés dans cette catégorie, les nombreux projets universitaires basés sur des architectures de type Cubesat, essentiellement à but pédagogique ou exploratoire.

Cette croissance est, comme on l'a vu, surtout notable aux États-Unis, largement tirée par de nombreuses missions de démonstration technologique de la NASA ou du DoD. Même s'il est de moindre amplitude, le même phénomène est observé auprès des autres puissances spatiales établies comme le Japon, l'Europe ou la Chine.

Toutefois, on ne peut également manquer de souligner le fort intérêt suscité par les petits satellites auprès des États nouveaux venus dans le secteur spatial. Il s'agit dans ce cas essentiellement de missions gouvernementales à visées opérationnelles.

Figure n° 10 : SATELLITES PUBLICS LANCÉS PAR NATIONALITÉS DE 1996 À 2016

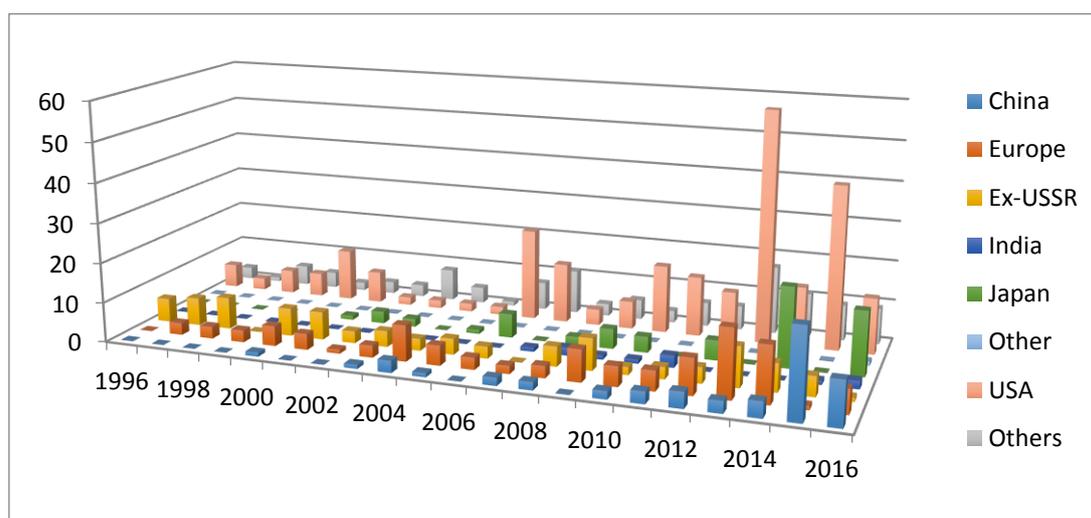


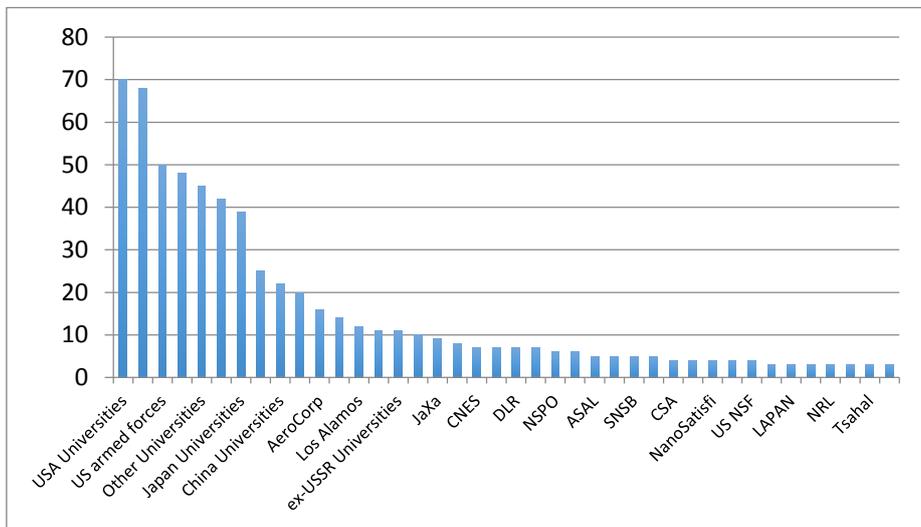
Figure n° 11 : RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE PAR PROPRIÉTAIRES « PUBLICS » DE 2003 À 2018 (BASE PSPL)



Figure n° 12 : RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE PAR UNIVERSITÉS DES SATELLITES LANCÉS DE 2003 À 2018 (BASE PSPL)



Figure n° 13 : PRINCIPALES ENTITÉS PUBLIQUES UTILISATRICES DE PETITS SATELLITES



Il faut enfin faire une mention particulière à la place des acteurs militaires dans le monde des petits satellites et la figure 4 montrait bien leur rôle essentiel dans les premières décennies de l'ère spatiale, les petits satellites étant utilisés principalement à des fins scientifiques et technologiques pour caractériser l'environnement spatial et tester les systèmes. Leur deuxième intérêt tenait à un usage en grappes, particulièrement représenté du côté soviétique avec les systèmes type Strela de télécommunications "store-and-forward" mais aussi d'écoute électronique...

Ces applications sont désormais plus réduites mais la tradition demeure bien ancrée d'un recours inégal à des petites plates-formes comme le montre le planisphère ci-dessous (figure 14) soulignant encore la prédominance des États-Unis mais aussi de la Russie et, dans une bien moindre mesure, la présence de la France et celle de la Chine.

Figure n° 14 : RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE DES PETITS SATELLITES MILITAIRES DE 2003 À 2018 (BASE PSPL)



B.- Clients privés

Du côté des clients privés, qui représentent désormais presque la moitié des propriétaires de petits satellites, l'évolution et la répartition sont extrêmement inégales. On retrouve dans le planisphère et les graphiques ci-après la constante de l'exceptionnalité américaine et la très forte concentration des projets privés sur le territoire américain, avec une explosion de la demande ces trois dernières années. On peut noter aussi toujours au deuxième rang la présence de l'Europe, d'ailleurs inégale selon les États, mais relativement ancienne et celle plus récente mais toujours limitée de la Chine, la Russie étant très discrète. Enfin le Japon continue à afficher sa solidarité avec le modèle américano-européen, de même qu'Israël.

Figure n° 15 : RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE DES PROPRIÉTAIRES COMMERCIAUX BASE PSPL



Figure n° 16 : RÉPARTITION DES PROPRIÉTAIRES PRIVÉS DE 1996 À 2016

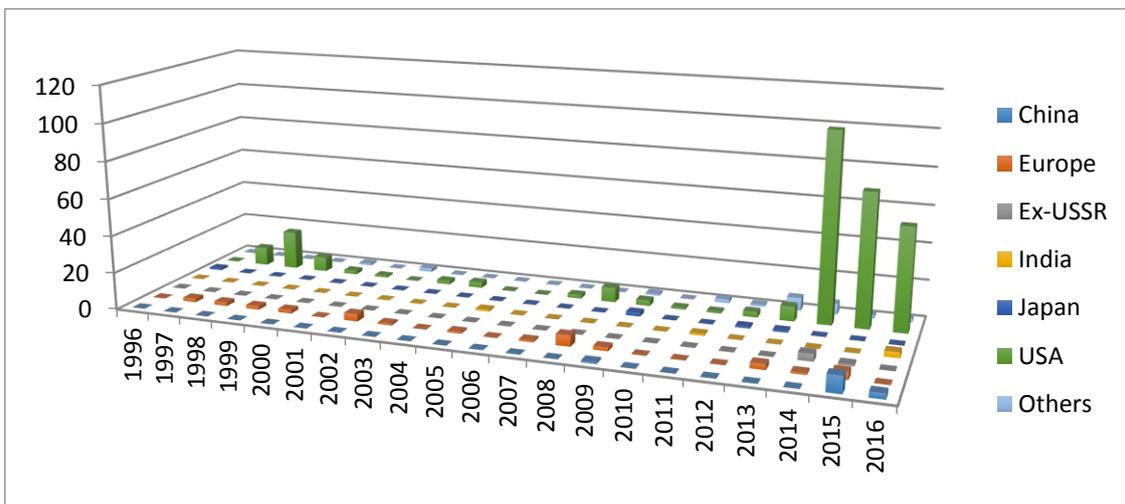
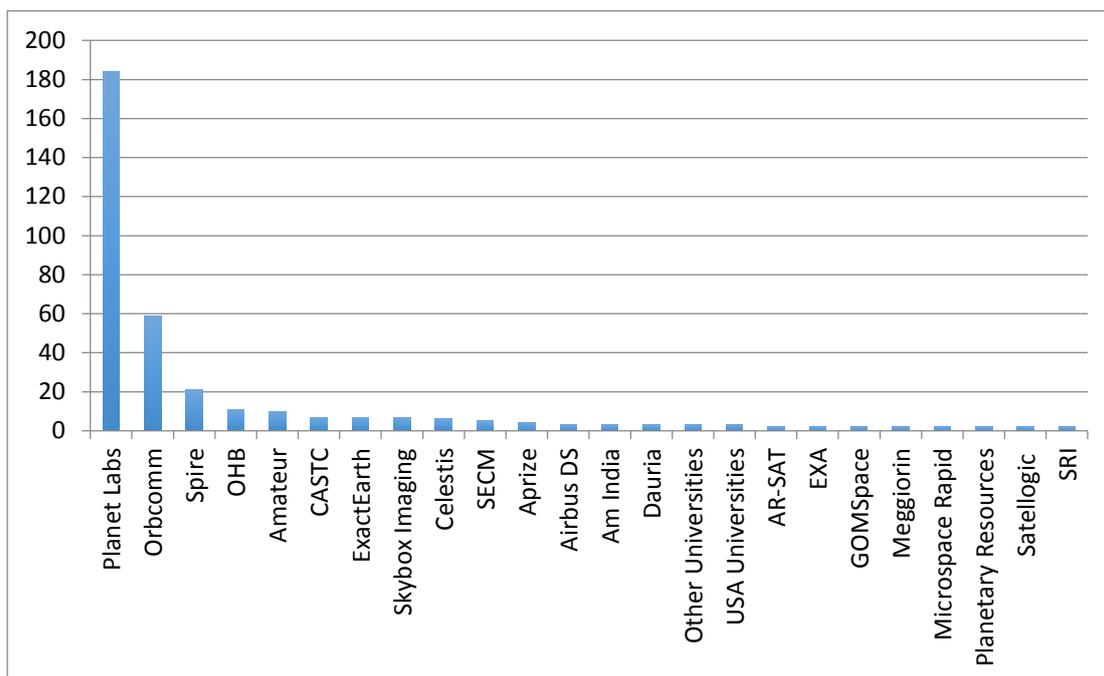


Figure n° 17 : SATELLITES DES CONSTELLATIONS EN ORBITE EN 2016



Une analyse plus fine des projets concernés montre, ainsi que cela a déjà été noté, que Planet représente finalement l’essentiel des réalisations dès 2016, même si de nouveaux entrants affichent de grandes ambitions en termes de développement rapide. De ce fait, le suivi de ces projets dans les 12 mois à venir est un élément essentiel pour apprécier à quel niveau les annonces de multiples projets vont se concrétiser. Les premiers mois de 2018 ne montrent toutefois pas de rupture majeure.

1.2.5 – Nature des missions

Seuls les États-Unis montrent un attrait réellement multidisciplinaire pour les projets à base de petits satellites avec des applications d’observation de la Terre et des projets technologiques, mais également des missions scientifiques, des projets télécoms et des missions spécifiques de calibration d’instruments radar.

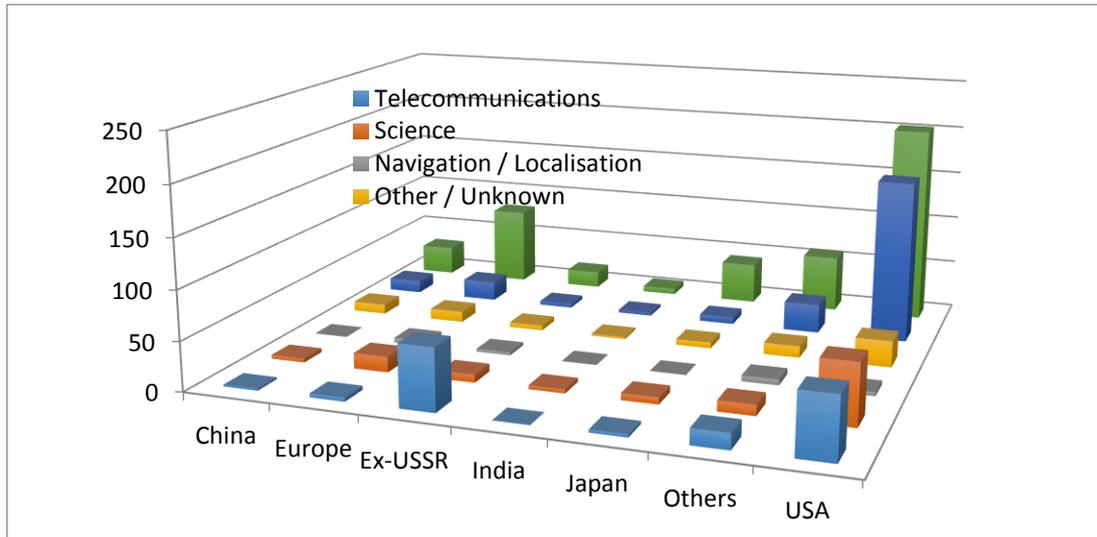
La Russie est assez peu portée sur les petites missions, d’autant que l’essentiel des projets télécoms apparaissant dans le graphique ci-dessous sont assez anciens.

La Chine, l’Europe et le Japon ont une activité établie depuis plusieurs années sur ce segment, avec comme on l’a vu précédemment, un intérêt plus récent pour des missions technologiques à caractère exploratoire.

Enfin, dans le reste du monde, les petits satellites sont un moyen d’accéder à des applications spatiales, jusqu’ici hors de portée, de manière autonome au moins partiellement dès lors que les plates-formes et des éléments de charge utile sont disponibles au moins

partiellement sur étagères. En complément des programmes opérationnels essentiellement liés au domaine de l'imagerie, on trouve également de nombreuses missions technologiques.

Figure n° 18 : PETITS SATELLITES PAR NATIONALITÉS ET TYPES DE MISSIONS



A.- Étude de cas : observation de la Terre

L'observation de la Terre mérite une mention particulière compte tenu de la mise sur orbite de la constellation originale qu'est Planet mais aussi de l'existence plus ancienne de petits satellites de type Surrey dont plusieurs exemplaires ont été commercialisés.

Le planisphère de la base Cosmosppl montre effectivement une répartition assez large des petits satellites d'observation de la Terre lancés depuis 2003 jusqu'à janvier 2018 (figure 19).

Figure n° 19 : PETITS SATELLITES D'OBSERVATION DE LA TERRE PAR PAYS DE 2003 À 2018



Si l'on regarde la situation pour l'année 2017 (figure 20), le résultat est tout à fait instructif. Certes, il s'agit de l'année qui a vu la mise sur orbite de 88 satellites Flock de la constellation Planet, mais la situation de l'année précédente marquait la même tendance (figure 21).

Figure n° 20 : PETITS SATELLITES D'OBSERVATION DE LA TERRE LANCÉS EN 2017



Figure n° 21 : PETITS SATELLITES D'OBSERVATION DE LA TERRE LANCÉS EN 2016



B.– Étude de cas : télécommunications

Les futures constellations de satellites de télécommunications font le devant de la scène médiatique avec des annonces impressionnantes de milliers de petits satellites de 150 kg pour One Web, plus gros autour de 400 kg pour Starlink et très petits pour Swarm Technologies dont les premiers exemplaires expérimentaux suscitent d'ailleurs toute une controverse, faute d'avoir reçu l'autorisation de la FCC qui s'y est refusée précisément du fait de leur petitesse (voir partie 2 sur la sécurité spatiale).

En l'état actuel, si l'on considère l'ensemble des petits satellites de télécommunications lancés depuis 2003, il apparaît que la répartition géographique est assez différente. En effet, même si les États-Unis restent les utilisateurs les plus importants, leur écart avec les autres grandes puissances spatiales, et en particulier la Russie et la Chine, est moins marqué.

L'étude plus précise des programmes concernés montre toutefois une distinction importante. La présence significative de la Russie est liée à l'exploitation traditionnelle de systèmes de stockage de données (Strela, Gonets) tandis que les satellites chinois sont déclarés comme civils et expérimentaux, certains correspondant à des sous-satellites³⁸. Quant aux systèmes américains, ils sont tout à la fois civils et militaires et correspondent aux lancements de la constellation Orbcomm de 2^{ème} génération.

Figure n° 22 : PETITS SATELLITES DE TÉLÉCOM LANCÉS DE 2003 À 2018



³⁸ On entend par « sous-satellite », un système autonome éjecté par un autre satellite qui est souvent lui-même un cubesat.

1.3 – Panorama des petits lanceurs opérationnels

1.3.1 – Présentation générale

Nous avons comptabilisé à la date du 28 février 2018, 21 petits lanceurs qui peuvent être considérés comme opérationnels ou supposément opérationnels que le tableau ci-dessous présente avec leurs principales caractéristiques :

Tableau n° 1 : PETITS LANCEURS OPÉRATIONNELS

NAME	TYPE	LAUNCH TYPE	YEAR 1 ST OPERATIONAL LAUNCH	CAPACITY LEO (KG)	CAPACITY SSO (KG)	N° OF STAGES	PROPULSION	LINKS MISSILE	LINKS SOUNDING ROCKET	PRIME CONTRACTOR NATIONALITY
Shavit 2	Mini	Land	1988	500		3	Solid	Jericho II		Israel
Pegasus XL	Mini	Air launch	1990	475	325	3	Solid			USA
Minotaur C	Small	Land	1994	1 459	1 054	3	Solid	Peacekeeper		USA
Dnepr ?	Small	Land	1999	3 200		3	Liquid	SS-18/R-36		Ukraine/ Russia
Minotaur I	Small	Land	2000	580	440	4	Solid	Minuteman 2		USA
Rokot	Small	Land	2000	1 950	1 200	2	Solid	SS-19 ICBM		Germany / Russia
Strela ?	Small	Land	2003	1 430	990	2	Liquid	UR-100N-UTTKh		Russia
Safir 1	Mini	Land	2009	100		2	Liquid	Ghadr-1	Yes	Iran
Safir 1A/B	Mini	Land	2011	100		3	Liquid	Ghadr-1	Yes	Iran
Unha 3	Mini	Land	2012	100	200	3	Liquid	Taepodong-2		North Korea
Vega	Small	Land	2012	1 500		4	Solid			Italy
KSLV-1 ?	Small	Land	2013	100		2	Liquid/Solid			
Epsilon	Small	Land	2013	1 400	800	4	Solid			Japan
Long March 6	Small	Land	2015	1 500	1 080	3	Liquid			China
Long March 11	Small	Land	2015	700	450	4	Solid	DF-31		China
Simorgh ?	Mini	Land	2016 ³⁹	250		2	Liquid	Shahab-5		Iran
Minotaur IV	Small	Land	2017	1 591	980	4	Solid	Peacekeeper		USA
Kaituoazhe 2	Mini	Land mobile	2017	350	250	3	Solid	DF-31 ?		China
Kuaizhou 1A	Mini	Land mobile	2017	300	250	4	Solid	DF-21 ?		China
Electron	Mini	Land mobile	2018	?	150	2	Liquid			USA
SS-520 (3 stages)	Nano	Land	2018	4		3	Solid		Yes	Japan

³⁹ Suborbital.

Sur ces 21 lanceurs recensés, 4 ont un statut incertain :

- ➔ après un premier tir réussi en 2013, KSLV-I, le lanceur sud-coréen, devrait laisser la place au KSLV-2 et peut être considéré comme un lanceur d'entrée de gamme dans l'objectif de construire une filière nationale ;
- ➔ Dnepr n'a plus été tiré depuis 2015 et son devenir est largement subordonné à la problématique politique entre la Russie et l'Ukraine suite à l'annexion de la Crimée ;
- ➔ Strela, lanceur russe, n'a pas été utilisé depuis 2014 ;
- ➔ Simorgh, le lanceur iranien, a échoué lors de son lancement inaugural de juillet 2017⁴⁰ mais des tirs sont prévus en 2018.

Quatorze lanceurs sont issus de la réutilisation de stock de missiles (États-Unis et Russie) ou de la convergence entre ces deux types de technologies qui permet de disposer d'un socle de compétences communes optimisant les développements (Chine, Israël, Iran et Corée du Nord).

Au-delà de ces aspects factuels, deux dimensions nous intéressent plus particulièrement : la dynamique commerciale et les impacts sur la sécurité internationale des petits lanceurs (cette dernière est traitée en partie 2). L'analyse de la base est à ce titre très utile dans la mesure où elle permet de dégager les tendances qui caractérisent le paysage actuel des petits lanceurs opérationnels.

1.3.2 – Ambition commerciale

Ainsi, sur les aspects commerciaux, l'étude de la nature et du type des différents intervenants d'une filière permet de mettre en relief les lanceurs qui ont des objectifs commerciaux clairement affichés.

Sans surprise, les petits lanceurs développés aux fins d'ambitions nationales dans l'espace sont issus d'une filière entièrement publique (Corée du Sud en coopération avec la Russie, Iran, Corée du Nord, Israël).

Seul Strela, dont toute la filière est publique, est le résultat d'une conversion missile (*a minima*) s'intégrant dans une stratégie d'opportunité avec objectifs commerciaux. Cependant, à la différence de Rockot développé par une entreprise privée germano-russe, Eurockot Launch Services, il est resté sous l'autorité de l'entreprise d'État NPO Mashinostroyena qui développait le missile UR-100N-UTTKh dont il est issu. Ceci explique en partie son peu de succès sur le marché des lancements (3 lancements depuis 2003), NPO Mashinostroyena étant essentiellement un fabricant de missile.

⁴⁰ Le lancement de 2016 était un vol suborbital.

Tableau n° 2 : TYPE ET NATURE DES FILIÈRES DE DÉVELOPPEMENT DES PETITS LANCEURS OPÉRATIONNELS

NAME	TYPE	OPERATOR	OPERATOR TYPE	CONTRACTING/DESIGNER AUTHORITY	CONTRACTING/DESIGNER AUTHORITY TYPE	PRIME CONTRACTOR	PRIME CONTRACTOR NATIONALITY	PRIME CONTRACTOR TYPE
KSLV-1	Small	KARI	Public	KARI	Public	KARI/GKNPTs Khrunichev	South Korea / Russia	
Minotaur IV	Small	Orbital ATK	Private	Orbital ATK	Private	Orbital ATK	USA	Private
Strela	Small	NPO Mashinostroyeniya	Public	NPO Mashinostroyeniya	Public	NPO Mashinostroyeniya	Russia	Public
Minotaur C	Small	Orbital ATK	Private	Orbital ATK	Private	Orbital ATK	USA	Private
Vega	Small	Arianegroup	Private	ESA	Public	Avio	Italy	Private
Long March 6	Small	China Rocket	PPP	CALT	Public	CALT	China	Public
Epsilon	Small	JAXA	Public	JAXA	Public	IHI	Japan	Private
Minotaur I	Small	Orbital ATK	Private	Orbital ATK	Private	Orbital ATK	USA	Private
Rokot	Small	VKS/Eurockot	Private	Eurockot Launch Services	Private	Eurockot Launch Services	Germany / Russia	Private
Long March 11	Small	China Rocket	PPP	CALT	Public	CALT	China	Public
Dnepr	Small	ISC Kosmotras	Private	ISC Kosmotras	Private	Yuzhnoe Design Bureau	Ukraine	Public
Safir 1	Mini	Iranian space agency	Public	Iranian space agency	Public	Iranian Space Agency	Iran	Public
Pegasus XL	Mini	Orbital ATK	Private	Orbital ATK	Private	Orbital ATK	USA	Private
Kaituoazhe 2	Mini	ExPace Technology Co	PPP	CASIC	Public	CASIC	China	Public
Safir 1A/B	Mini	Iranian space agency	Public	Iranian space agency	Public	Iranian Space Agency	Iran	Public
Unha 3	Mini	KCST	Public	KCST	Public	KCST	North Korea	Public
Simorgh	Mini	Iranian Space Agency	Public	Iranian Space Agency	Public	Iranian Space Agency	Iran	Public
Shavit 2	Mini	ISA	Public	ISA	Public	Israel Aerospace Ltd	Israel	Private
Electron	Mini	Rocket Lab	Private	Rocket Lab	Private	Rocket Lab	USA	Private
Kuaizhou 1A	Mini	ExPace Technology Co	PPP	CASIC	Public	CASIC	China	Public
SS-520 (3 stages)	Nano	Canon/JAXA	PPP	JAXA	Public	NGSRDP	Japan	Private

Epsilon, développé et opéré par la JAXA, est un cas de figure un peu atypique car il est spécifiquement conçu pour le lancement de satellites scientifiques. Il s'inscrit dans un effort pour développer des lanceurs plus petits et moins chers engagé précédemment avec les lanceurs orbitaux de la série « Mu »⁴¹ gérés par l'Institut des sciences spatiales et astronautiques (ISAS), entité historique de l'université de Tokyo devenue la Space Science Research Division de la JAXA lors de la réorganisation de 2003⁴². Quelques contrats ont été passés avec des clients étrangers comme le Vietnam (2 satellites prévus

⁴¹ Voir en annexe le tableau qui présente tous les petits lanceurs depuis 1957.

⁴² L'ISAS et la NASDA ont fusionné créant ainsi la JAXA afin de rationaliser l'ensemble des efforts nationaux.

en 2018) mais le poids d'Epsilon sur le marché des lancements de petits satellites semble rester mineur.

Seuls 6 lanceurs américains sont rattachés à une filière entièrement privée mais trois d'entre eux sont exclusivement réservés au client gouvernemental. Il s'agit de Minotaur I, IV et C, lanceurs d'Orbital ATK, issus de missiles déclassés, et dont l'exploitation commerciale est interdite. En effet, comme la loi fédérale exige que l'US Air Force conserve le contrôle des moteurs des missiles balistiques, elle peut fournir des moteurs de missiles balistiques remis à neuf mais uniquement pour soutenir des missions militaires ou de lancements gouvernementaux⁴³. Orbital ATK exhorte les législateurs américains à mettre fin à cette interdiction, ce qui soulève l'ire des entreprises qui ont investi des millions de dollars dans des projets potentiellement concurrentiels arguant d'une compétition inéquitable⁴⁴.

Rokot a un statut particulier au sein de cette dernière catégorie. Issu de missiles déclassés, il n'est soumis à aucune interdiction de la part du gouvernement russe et peut donc s'inscrire pleinement dans une dynamique commerciale même s'il n'est pas spécifiquement pensé en direction des petits satellites. Ses prochains tirs prévus sont par ailleurs essentiellement institutionnels⁴⁵.

Enfin, Electron et Pegasus (États-Unis) ont été développés sur fonds propre par RocketLab et Orbital ATK et conçus spécifiquement pour la mise sur orbite de petits satellites. Une rentabilité d'exploitation étant sans conteste l'objectif des deux sociétés.

La figure suivante récapitule les capacités d'emport des lanceurs considérés dans la base Cosmospspl.

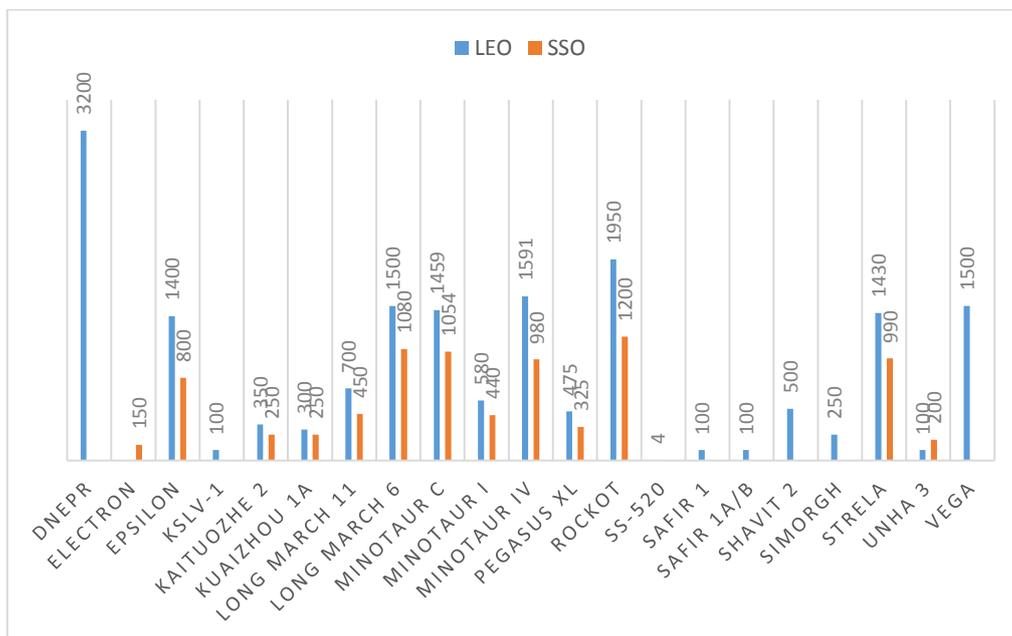
Cette figure (n° 23) fait aussi apparaître les trois lanceurs chinois Kuaizhou I-À, Kaituoze 2 et Long March 6 comme lanceurs spécifiques aux petits satellites avec des options commerciales affichées, ce que confirme le statut des opérateurs en charge des lancements créés dans un cadre de PPP afin de satisfaire aux conditions politiques particulières de contrôle de la Chine sur des secteurs stratégiques. Il est cependant important de noter que les règles ITAR peuvent freiner le développement de leur exploitation commerciale (comme pour l'Inde, même si c'est dans une moindre mesure puisqu'elle a un accord au cas par cas avec le gouvernement américain).

⁴³ http://cdn.defensedaily.com/wp-content/uploads/post_attachment/139845.pdf

⁴⁴ « Orbital presses U.S. lawmakers to end ban on retired missiles », <https://www.reuters.com/article/us-space-launch/orbital-presses-u-s-lawmakers-to-end-ban-on-retired-missiles-idUSKCN0X2001>

⁴⁵ http://space.skyrocket.de/doc_lau/rokot.htm

Figure n° 23 : CAPACITÉS D’EMPORT EN LEO ET SSO PAR LANCEURS OPÉRATIONNELLS



Vega, seul petit lanceur dédié ayant un opérateur privé et un constructeur privé (maître d’œuvre Avio) sous maîtrise d’ouvrage publique (ESA)⁴⁶, est limité pour le lancement des petits satellites. Il est en effet configuré pour des charges utiles de 1 500 kg. Les petits satellites ne peuvent donc qu’être des charges utiles secondaires et nécessitent des adaptateurs⁴⁷. Il se situe par ailleurs essentiellement sur le secteur des lancements institutionnels⁴⁸ comme le montre le tableau suivant :

Tableau n° 3 : PROGRAMMATION DES LANCEMENTS VEGA À HORIZON 2021

Date	Satellite	Mission	Poids	Orbite	Clients
~2018	ADM-Aeolus	Observation de la Terre	1 100 kg	Orbite héliosynchrone	Agence spatiale européenne
~2018	PRISMA	Observation de la Terre	800 kg	Orbite héliosynchrone	Agence spatiale européenne
~2018	Mohammed VI-B	Observation de la Terre	1 110 kg	Orbite héliosynchrone	Centre royal de télédétection spatiale (Maroc)
~2018	Unisat 7/Unicorn I ⁴⁹				

⁴⁶ Un maître d’ouvrage est la personne physique ou morale pour le compte de laquelle des travaux sont réalisés (donneur d’ordre/commande). Le maître d’œuvre est la personne physique ou morale retenue par le maître d’ouvrage en charge de traduire en termes techniques les besoins de ce dernier et de réaliser le projet de travaux dans le respect des conditions fixées par ce dernier.

⁴⁷ <http://www.arianespace.com/vehicule/vega/>

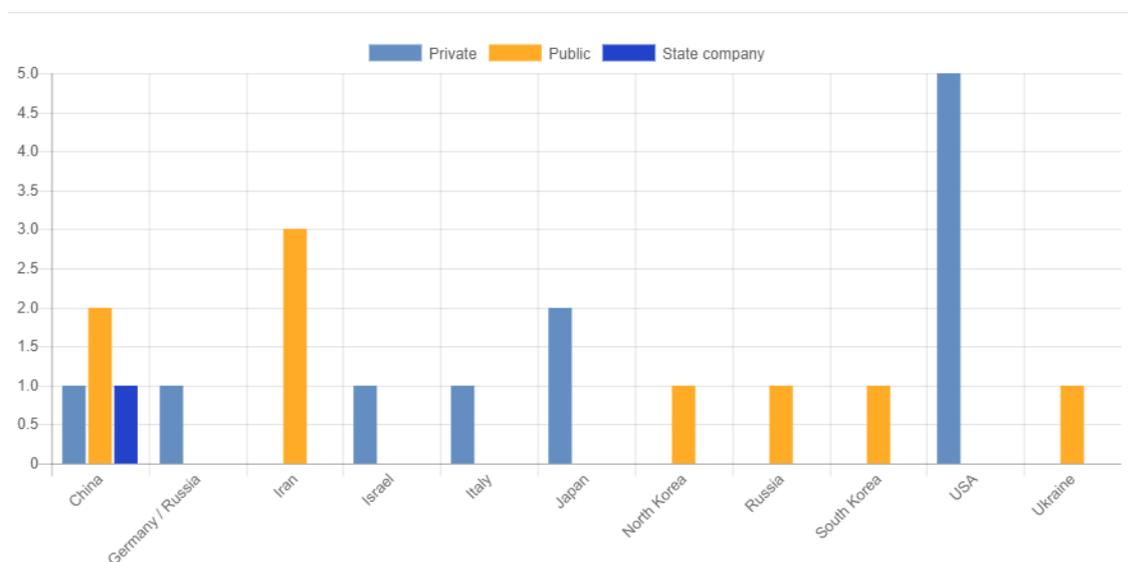
⁴⁸ Avec une perspective de 9 lancements institutionnels entre 2020 et 2023 – <https://www.latribune.fr/entreprises-finance/industrie/aeronautique-defense/ariane-6-vega-c-la-revolution-copernicienne-de-l-europe-en-matiere-de-preference-europeenne-759282.html>

⁴⁹ *Multiple Small Satellite*.

Date	Satellite	Mission	Poids	Orbite	Clients
~2019	Falcon Eye-1	Satellite de reconnaissance	1 500 kg	Orbite héliosynchrone	Armée des Émirats Arabes Unis
~2019	Falcon Eye-2	Satellite de reconnaissance	1 500 kg	Orbite héliosynchrone	Armée des Émirats Arabes Unis
~2020	CERES 1/2/3	Satellite d'écoute électronique			CNES/DGA
~2020	Pléiades-Neo 1 / Pléiades-Neo 2	Observation de la Terre	620 kg	Orbite héliosynchrone	Airbus Defence and Space.
~2020	CSG 2	Observation de la Terre	≤2 230 kg ⁵⁰	Orbite héliosynchrone	Agence spatiale italienne
~2021	Pléiades-Neo 3 / Pléiades-Neo 4	Observation de la Terre	620 kg	Orbite héliosynchrone	Airbus Defence and Space.

Enfin, le petit lanceur SS-520, catégorisé comme un nano-lanceur avec une capacité d'emport de 4 kg, a été développé par un consortium intitulé *New Generation Small Rocket Development Planning* ⁵¹ capitalisant sur la fusée sonde S-520 développée par la JAXA⁵². L'opérateur est un partenariat établi sous la forme d'un PPP entre Canon et la JAXA. Il a été spécialement conçu et développé pour le lancement des très petits satellites (nano-satellites) et est en mesure de représenter un acteur sérieux sur le marché du lancement des petits satellites.

Tableau n° 4 : PRIME CONTRACTOR PAR TYPE ET NATIONALITÉ



⁵⁰ <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/cosmo-skymed-second-generation>

⁵¹ Consortium composé de Canon Electronics (70 %), IHI Aerospace (10 %), Shimizu (10 %), Development Bank of Japan (10 %), établi en 2017. <https://asia.nikkei.com/Business/Companies/Canon-Electronics-led-team-hopes-to-develop-low-cost-rocket>

⁵² Pour plus de détail sur sa configuration voir http://space.skyrocket.de/doc_lau/ss-520.htm

Pour autant, à la suite de ce rapide descriptif, la question se pose de savoir dans quelle mesure nous sommes dans une phase particulière qui se termine avec la fin de la reconversion des missiles.

Il est vraisemblable que l'exploitation des stocks de missiles à des fins de lancements commerciaux va prochainement connaître son terme avec l'épuisement des stocks côté russe.

Même si certaines initiatives sont en cours de discussion côté américain pour l'exploitation de stocks de missiles ou d'intercepteurs, celle-ci prendra vraisemblablement une tournure très différente. En effet, le lobbying industriel s'est fortement mobilisé à l'encontre de tels programmes suspectés de porter préjudice à cette industrie naissante. Les autorités fédérales américaines sont très sensibles à ces arguments, et il est plus que vraisemblable que même si ces projets se concrétisent, leur champ d'application sera strictement limité aux enjeux de sécurité nationale et qu'aucune exploitation à caractère commercial civil ne sera autorisée.

1.4 – L'horizon des programmes de lanceurs

1.4.1 – Lanceurs en développement

Quarante-quatre lanceurs en développement ont été recensés par l'équipe. Aucun lanceur n'a de filiation avec un missile, mais 4 lanceurs ont une filiation avec des fusées sondes VLM-1 (mini lanceur, fusée sonde VS-40), North Star Launch Vehicle (NSLV, nano lanceur, fusées sondes North Star 1 et 2), ARRC launcher TBC (fusée sonde HTTP-3S), Spyder (fusée sonde XL loft, Nano lanceur).

Tableau n° 5 : LANCEURS EN DÉVELOPPEMENT

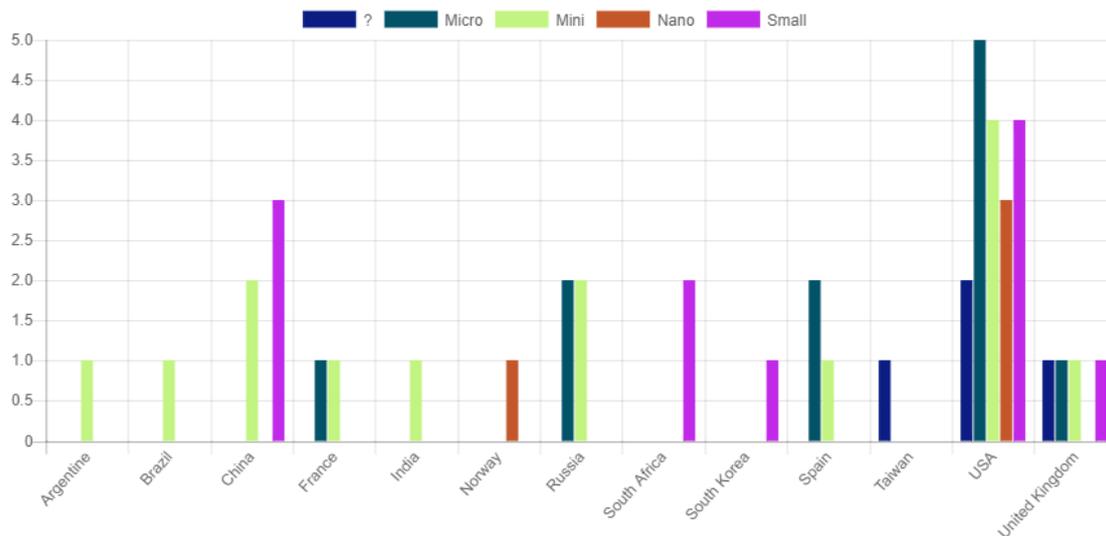
NAME	TYPE	LAUNCH SITE COUNTRY	LAUNCH TYPE	1 ST LAUNCH PLANNED DATE	PAYLOAD CAPACITY LEO (KG)	PAYLOAD CAPACITY SSO (KG)	REUSABLE COMPONENTS	PROPULSION	PRIME CONTRACTOR	PRIME CONTRACTOR NATIONALITY
Tronador II	Mini	Argentine	Land	2020	150			Liquid	VENG SA	Argentine
ERIS	Mini				380				Gilmour Space Technology	Australia
VLM 1	Mini	Brazil	Land mobile	2019	150			Solid	IAE	Brazil
Naga-L	Small	China		2017	1550	820			CALT	China
OneSpace TBD	?			2018		700			Beijing One Space Technology	China
Xin Gan Xian 1 (New Line 1)	Mini			2020		200	Yes	Liquid	Link Space	China
LandSpace-1	Small	China	Land mobile	2018		400		Solid	LandSpace Technology	China
Kuaizhou-11	Small	China	Mobile	2018	1000	700		Solid	ExSpace	China

NAME	TYPE	LAUNCH SITE COUNTRY	LAUNCH TYPE	1 ST LAUNCH PLANNED DATE	PAYLOAD CAPACITY LEO (KG)	PAYLOAD CAPACITY SSO (KG)	REUSABLE COMPONENTS	PROPULSION	PRIME CONTRACTOR	PRIME CONTRACTOR NATIONALITY
Altair	Mini		Air launch		150		Yes	Liquid/Solid	ONERA	France
Eole	Micro		Air launch		50		Yes	Liquid	PME Aviation Design	France
Chetak	Mini		Land			150	Yes	Liquid	Bellatrix Aerospace	India
North Star Launch Vehicle (NSLV)	Nano	Norway	Land	2020	10			Liquid/Solid	Nammo Raufoss	Norway
Taymyr-7	Mini		Land		180			Liquid	Lin Industrial	Russia
Taymyr 1A	Micro		Land		12			Liquid	Lin Industrial	Russia
Taymyr-1	Micro		Land		14			Liquid	Lin Industrial	Russia
Taymyr-5	Mini		Land		108			Liquid	Lin Industrial	Russia
Cheetah 2-4	Small				200	1620			Marcom	South Africa
Cheetah 1	Small				1000	440		Liquid	Marcom	South Africa
KSLV 2	Small	South Korea	Land	2020	1500			Liquid	Kari	South Korea
Bloostar	Micro	Spain	Balloon	2019		75		Liquid	Zero2infinity	Spain
Sagittarius Space Arrow	Micro		Air launch		16		Yes		Celestia Aerospace	Spain
Arion 2	Mini	Spain	Land	2020	150	60	Yes	Liquid	PLD Space	Spain
ARRC launcher TBC	?								ARRC	Taiwan
Intrepid-I	Mini	USA	Land mobile	2018	250	220		Liquid/Solid	Rocket Crafters	USA
Stealth Space Company launcher TBC	?								Stealth Space Company	USA
Spyder	Nano	USA	Land		7,25			Solid	UP Aerospace	USA
Haas 2CA	Mini	USA	Land	2018	100			Liquid	ARCA Space Corporation	USA
Minimum Cost Launch Vehicle	Micro				22,7				Whittinghill Aerospace	USA
Launcher One	Small	USA	Air launch	2018	500	300		Liquid	Virgin Galactic	USA
Vector H	Mini	USA	Land mobile	2018	110	75		Liquid	Vector Space Systems	USA
Neptune 3	Micro	USA	Sea	2017	18			Liquid	Interorbital Systems	USA
Neptune 8	Small	USA	Sea	2017	500			Liquid	Interorbital Systems	USA
Starlord	Mini	USA	Land		300		Yes	Liquid	RocketStar	USA
Firefly Alpha	Small			2019	1000				Firefly Space Systems	USA
Vector-R	Micro	USA	Land	2017	50	25		Liquid	Vector Space Systems	USA
Neptune 1	Nano	USA	Sea	2017	45				Interorbital Systems	USA
Helios	?	USA	Land fixed			14	Yes	Liquid	Aphelion Orbitals	USA
CAB-3A	Nano	USA	Air launch	2018	5				CubeCab	USA

NAME	TYPE	LAUNCH SITE COUNTRY	LAUNCH TYPE	1 ST LAUNCH PLANNED DATE	PAYLOAD CAPACITY LEO (KG)	PAYLOAD CAPACITY SSO (KG)	REUSABLE COMPONENTS	PROPULSION	PRIME CONTRACTOR	PRIME CONTRACTOR NATIONALITY
CloudIX launcher project TBD	Micro	USA, Mexico, South America	Balloon		22			Solid	CloudIX	USA
ASTRA	Micro	USA	Land mobile		100			Liquid	Astra Space Inc.	USA
Orbex launcher TBD	Mini	United Kingdom	Land			220			Orbital Express Launch Limited	United Kingdom
Launcher Space Launcher	?						Yes		Launcher Space	United Kingdom
Orbital 500R	Small	United Kingdom	Air launch	2020		500			Orbital Access	United Kingdom
Min-sat-2000	Micro			*	20				Massterra	United Kingdom

Ces 44 lanceurs sont répartis sur 13 pays parmi lesquels on note qu’il s’agit, pour l’Argentine, le Brésil, l’Afrique du sud, et la Taiwan d’une approche classique avec l’ambition de développer une filière nationale ; le petit lanceur représentant la première étape. La répartition géographique des petits lanceurs en développement est finalement sans surprise si ce n’est la place particulièrement importante des pays européens, notamment le Royaume Uni (voir fiche Europe en annexe).

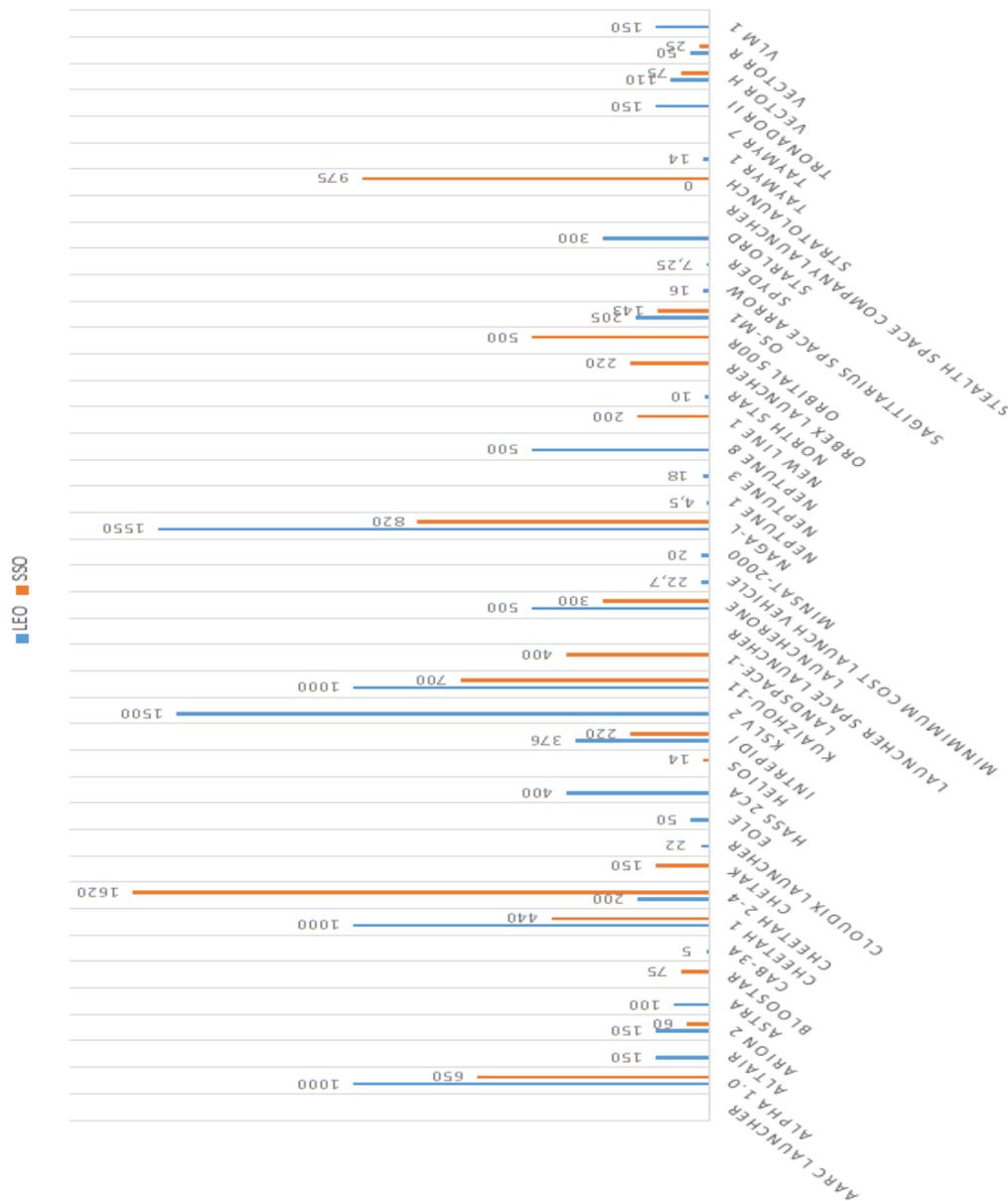
Figure n° 24 : RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE DES PETITS LANCEURS EN DÉVELOPPEMENT



Si l’on regarde les capacités prévues en LEO et SSO des différents lanceurs en développement, la majorité se situe sur une fourchette entre 4 et 500 kg (figure ci-dessous). Cela correspond à la tendance « new space » de vouloir se positionner sur le marché des petits satellites et confirme que la majorité de ces petits lanceurs ont des objectifs

purement commerciaux. Pour ceux dont la capacité de lancement est supérieure à 1 000 kg, on retrouve classiquement les pays dont l’ambition est de construire un lanceur d’entrée de gamme. Le Brésil fait figure d’exception avec une capacité à 150 kg. Ce programme a des ambitions hybrides. D’une part, il s’agit pour les autorités brésiliennes d’une première étape aux fins d’un développement d’une filière nationale ambition, poursuivie depuis les années 1970. D’autre part, de s’adapter à la dynamique commerciale perçue comme clairement dirigée vers un marché des petits satellites florissant⁵³.

Figure n° 25 : CAPACITÉ EN LEO ET SSO DES LANCEURS EN DÉVELOPPEMENT



⁵³ Voir à ce sujet « AEB quer exportar veículos lançadores de microssatélites », 24 octobre 2016 - <http://www.aeb.gov.br/aeb-quer-exportar-veiculos-lancadores-de-microssatelites/>

1.4.2 – Lanceurs en projet

Un total de 48 petits lanceurs en projet a été identifié par l'équipe. Les données disponibles sont largement incomplètes en raison du stade très préliminaire de beaucoup d'entre eux.

La plupart sont des produits originaux dans la mesure où il n'existe aucune filiation missile évidente sauf, peut-être, pour le lanceur développé par la LAPAN (Agence spatiale indonésienne) : *Roket Pengorbit Satelit* et un seul projet en filiation avec une fusée sonde (Japon, MOMO). Issus dans leur grande majorité d'entités privées, seuls 4 projets sont issus d'institutions publiques (DARPA, ESA, LAPAN, Swedish Space Corporation).

Tableau n° 6 : PETITS LANCEURS EN PROJET

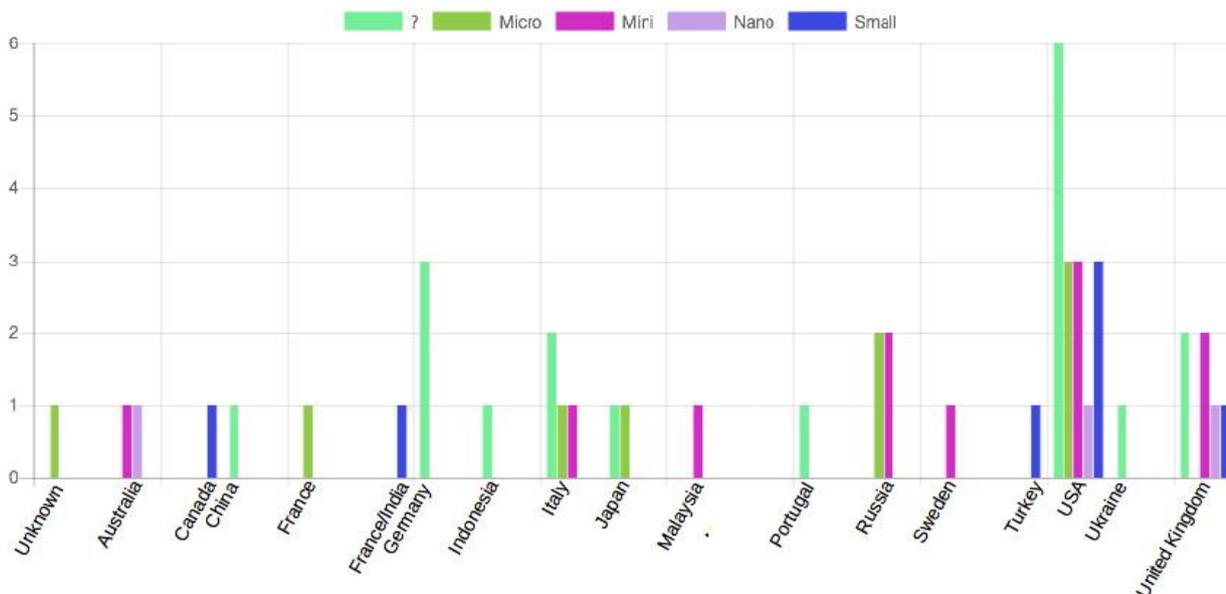
Name	Type	Launch type	First launch planned date	Payload capacity LEO (kg)	Payload capacity SSO (kg)	Reusable components	Propulsion	Lead Organization	Lead Organization nationality	Type Lead Organization
Prometheus 1	Mini		2017	250		First stage	Liquid	SpaceLS	United Kingdom	Private
Volant	?	Land	2018	225			Solid	bSpace	USA	Private
BOREAS	Mini	Air launch	2019		89		Solid	Stofiel Aerospace	USA	Private
Black Arrow 2	Small	Land	2019	500	200		Liquid	Horizon Space Technologies	United Kingdom	Private
XS-1	Small		2020	1 361				DARPA	USA	Public
Eris	Mini	Land	2020	380			Liquid/Solid	Gilmour Space Technologies	Australia	Private
Momo project TBD	?	Land	2020				Liquid	Interstellar Technologies	Japan	Private
Rainbow Smallsat Express	Mini	Land	2020	150				Swedish Space Corporation	Sweden	Public
Shenzhen Yu Long Project TBD	?	Land	2020				Liquid	Shenzhen Yu Long	China	Private
RS-1	Small		2021	675	425			ABL Space Systems	USA	Private
Vega L	Mini	Land	2024	350				ESA	Italy	Private
Roket Pengorbit Satelit	?	Land	2040				Solid	LAPAN	Indonesia	Public/military
SMILE launcher	Micro	Land	*	50		Yes				
Aldan	Micro	Land		100	60			Lin Industrial	Russia	Private
Aniva	Micro	Land		90			Liquid	Lin Industrial	Russia	Private
B2Space Launcher	Mini	Balloon		150		1		B2Space	United Kingdom	Private
Bagaveev Corporation Launcher	Nano	Land/Sea			10			Bagaveev Corporation	USA	Private
BluShift	?							bluShift	United Kingdom	Private
DNLV	Mini			200			Liquid	Independence-X	Malaysia	Private
Daneo	?	Air launch						MT Aerospace	Germany	Private

Name	Type	Launch type	First launch planned date	Payload capacity LEO (kg)	Payload capacity SSO (kg)	Reusable components	Propulsion	Lead Organization	Lead Organization nationality	Type Lead Organization
Deimos launcher TBC	?						Liquid	Deimos	Portugal	Private
Demi Sprite	Mini			160				Microcosm	United States	Private
Devon two	Nano			4		Yes		Tranquility Aerospace	United Kingdom	Private
Final Launch Vehicle	?							European Launch Vehicle	Italy	Private
French India Launcher project TBD	Small								France/India	
GoLauncher 2	Micro	Air launch		40				Generation Orbit	USA	Private
M OV	Mini	Land		454			Liquid/Solid	MISHAAL Aerospace	USA	Private
MTA	?	Land fixed					Liquid	MT Aerospace	Germany	Private
Micro-lanceur TBD	Micro			100			Solid	NGSRDP	Japan	
Microspace 2	?	Land			40			Yuzhnoye	Ukraine	Private
NFR-1	?							Fore Dynamics Corporation	USA	Private
Neptune N5	Micro	Sea		40			Liquid	Interorbital Systems	United States	Private
NewAscent launcher TBD	?							New Ascent	USA	Private
Odyne launcher TBD	?							Odyne Space	USA	Private
Primo	?	Land fixed					Liquid/Solid	Leaf Space	Italy	Private
Q@ts	Micro						Liquid/Solid	ArianeGroup	France	Private
Quick Launch Vehicle	Micro						Liquid/Solid	European Launch Vehicle	Italy	Private
Rocketplane XS	Small			3000				Rocketplane Global	Canada	Private
Rocky 1	Nano	Land		5				SpaceOps	Australia	Private
Rocketstan's project TBD	Small							Rocketstan	Turkey	Private
Skyrora XL	?						Liquid	Skyrora	United Kingdom	Private
SpinLaunch project TBD	?							SpinLaunch	USA	Private
Terran 1	Small			1250	900			Relativity Space	USA	Private
Unreasonable Rocket	?							Unreasonable Rocket	USA	Private
VALT	Micro			22			Solid	VALT Enterprises	USA	Private
Vyuga	Mini	Air launch		450				Lin Industrial	Russia	Private
WARR	?						Liquid/Solid	MT Aerospace	Germany	Private
Zeya	Mini			200				Lin Industrial	Russia	Private

La répartition géographique reste également dans ce cadre-là sans grand bouleversement. Nous retrouvons les grandes puissances spatiales et un nombre important de projets en Europe. La Turquie témoigne depuis longtemps de sa volonté d'accéder à la technologie lanceur. La Malaisie, quant à elle, apparaît via un projet d'une entreprise,

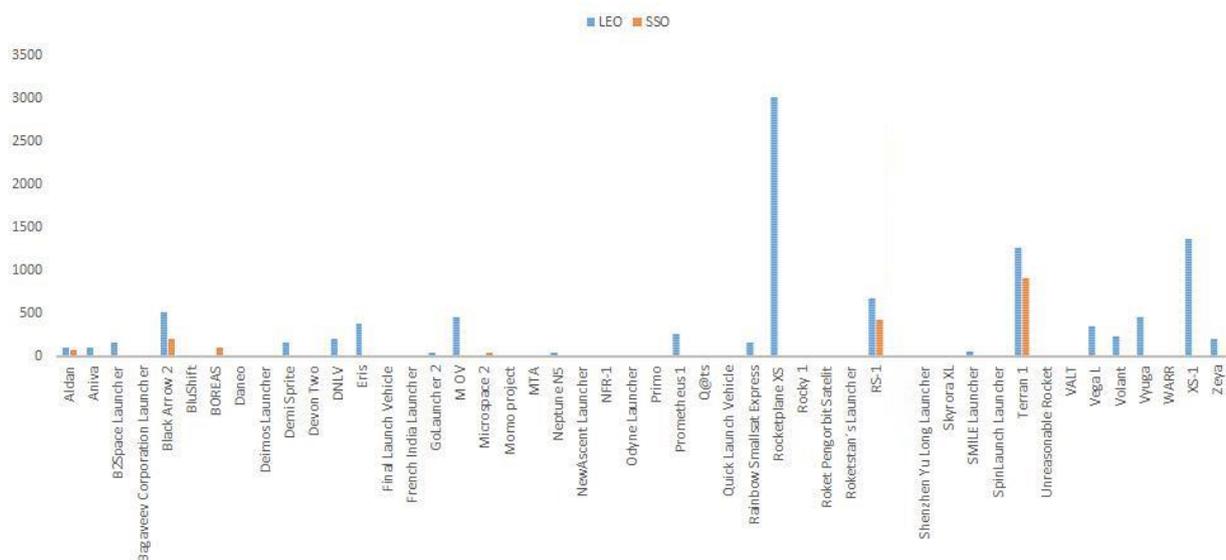
Independence-X, réunissant des professionnels du monde de l'industrie et de l'université, se rapprochant de certaines startups américaines⁵⁴.

Tableau n° 7 : RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE DES LANCEURS EN PROJET



En l'état des données disponibles, les capacités en LEO et SSO annoncées sont également en majorité inférieures à 500 kg. Seuls 2 projets américains, XS-1 de la DARPA et Terrain-1 de Relativity Space, et 1 projet canadien, Rocketplane XS, se situent autour des 1 500 kg en orbite.

Tableau n° 8 : CAPACITÉ EN LEO ET SSO DES LANCEURS EN PROJETS



⁵⁴ <http://www.independence-x.com/about-us.html>

1.4.3 – Méthode de lancement

Les fournisseurs de solutions de lancement pour les petits satellites explorent de nouvelles méthodes de lancement telles que les lancements aéroportés ou depuis un ballon. Cependant la majorité des lanceurs en projet ou en développement s'en tiennent à des méthodes de lancement vertical, fixe ou mobile, depuis une infrastructure sol ou maritime. Les figures suivantes présentent un état des lieux des méthodes privilégiées en fonction du type de lanceur, selon les informations disponibles fin 2017. En majorité, la méthode de lancement privilégiée est un tir depuis un pas de tir terrestre classique.

Figure n° 26 : MÉTHODE DE LANCEMENT LANCEURS OPÉRATIONNELS

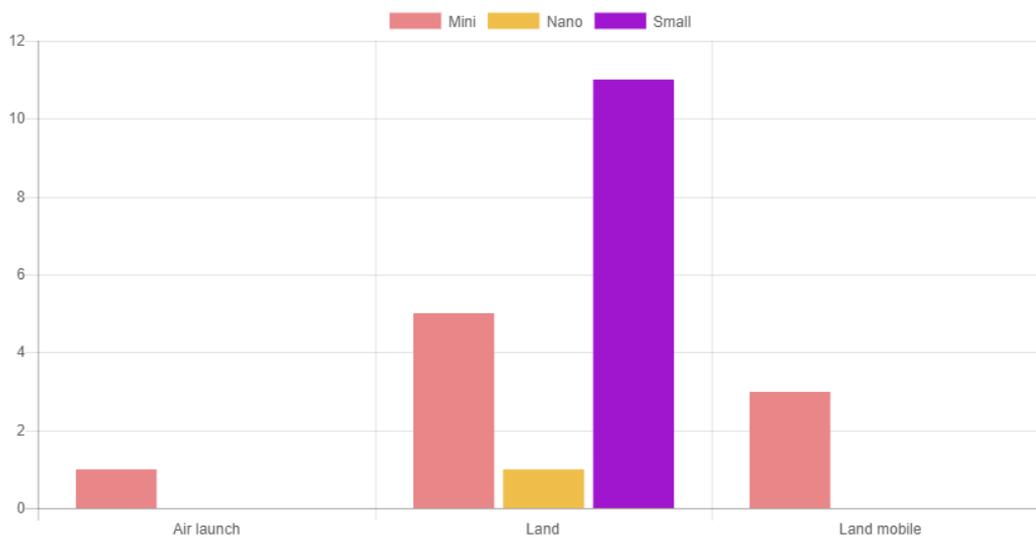


Figure n° 27 : MÉTHODE DE LANCEMENT LANCEURS EN DÉVELOPPEMENT

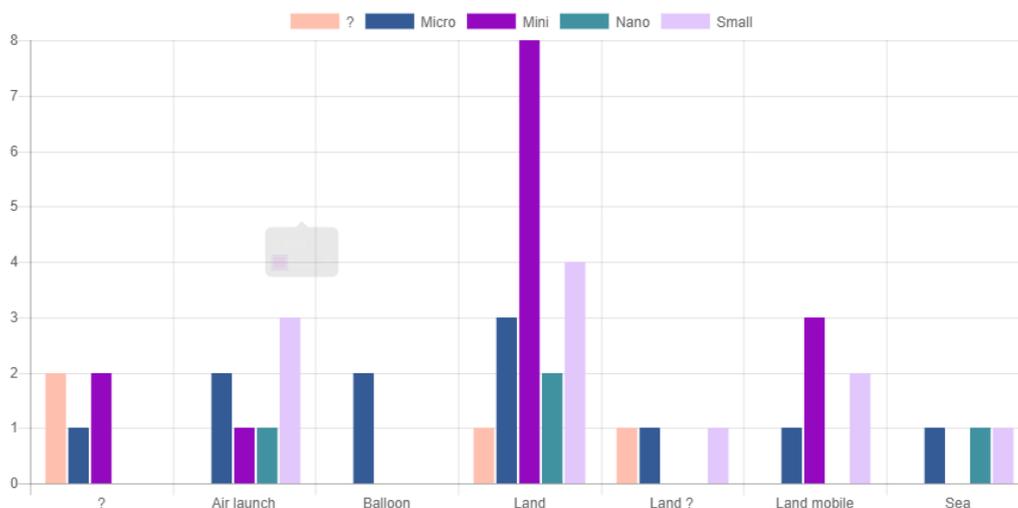
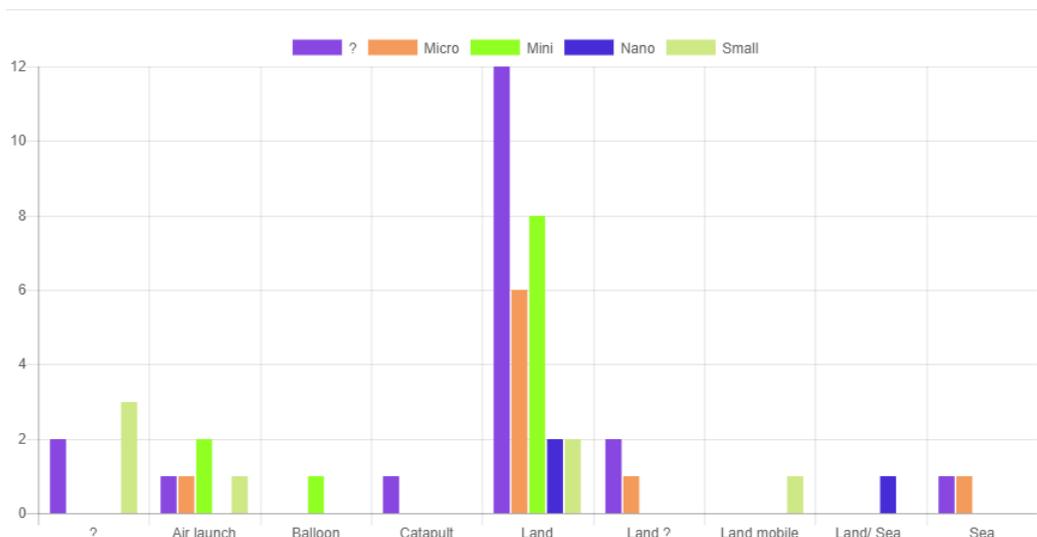


Figure n° 28 : MÉTHODE DE LANCEMENT LANCEURS EN PROJET



1.4.4 – Coût de développement d'un petit lanceur

Aucun élément n'est publiquement disponible concernant le coût de développement des divers projets de petits lanceurs. Outre le secret industriel propre à toute activité fortement concurrentielle, cela tient également de la nature même du financement de ces programmes qui font l'objet de levées de fonds successives pour couvrir leurs besoins. La notion même de coût à achèvement, décisive dans le cadre d'une programmation budgétaire de fonds publics avant l'engagement du développement, n'a pas cours ici.

Le véritable enjeu économique est celui de la rentabilité d'exploitation et, là encore, il est difficile de disposer d'éléments permettant de se prononcer y compris probablement pour les sociétés elles-mêmes.

1.4.5 – Fiabilité des petits lanceurs

La crédibilité technique des divers projets de petits lanceurs en cours fait également l'objet d'interrogations lancinantes. Y répondre de manière argumentée nécessiterait d'avoir accès aux détails de la conception de ces divers projets. Ceci est évidemment exclu du fait du financement privé de ces développements ainsi que de la nature hautement concurrentielle des marchés ciblés.

Si un certain scepticisme prévalait encore jusqu'à récemment, force est de constater que, d'un point de vue strictement statistique, les lancements inauguraux des programmes les plus avancés tendent à démontrer un niveau de maîtrise des phases de conception bien supérieur aux évaluations initiales, notamment aux États-Unis. Ceci est d'autant plus remarquable que le nombre d'essais réalisés avant de procéder à un lancement opérationnel est en général extrêmement limité.

Cela résulte probablement de la conjonction de plusieurs facteurs :

- ➔ Disponibilité sur le marché commercial d'équipements fiables et performants ;
- ➔ Approche de la conception par « *building blocks* » ;
- ➔ Réutilisation d'éléments qualifiés (fusées sondes, missiles déclassés) ;
- ➔ Recrutement d'ingénieurs expérimentés de la filière lanceurs ;
- ➔ Bon niveau de compétence technique de jeunes ingénieurs ;
- ➔ Et surtout, disponibilité d'outils avancés de simulation numérique.

Le cas du lanceur Electron de la société RocketLab qui a réussi une mise à poste parfaite de ses charges utiles dès le second lancement préfigure probablement d'autres succès techniques à venir.

Du reste, la réussite des développements de la famille des lanceurs Falcon par Space-X ou même du lanceur ARES I par la NASA dans les années 2000 procède d'approches similaires.

On conçoit que de telles conditions peuvent aisément être réunies aux États-Unis. Il n'en va pas nécessairement de même dans d'autres régions du monde. Le cas de la Russie qui est confrontée à de multiples difficultés paraît à cet égard tout à fait emblématique.

Au final, le niveau de performance technique des divers projets n'est donc peut-être pas le principal discriminant permettant de préjuger de leur réussite future, et le facteur économique risque de s'avérer prépondérant dans un contexte prévisible de surcapacité. L'enjeu essentiel sera à l'évidence celui du partage des coûts fixes d'exploitation par la :

- ➔ génération d'économies d'échelle sur des programmes récurrents de méga-constellations ;
- ➔ agrégation d'une demande disparate.

Dans tous les cas, à l'image de l'exploitation des lanceurs traditionnels, l'optimisation du coefficient de remplissage sera une variable opérationnelle essentielle en matière d'amortissement des coûts fixes. L'extrême variété, voire volatilité, de la demande dans un contexte fortement concurrentiel contribuera probablement à fortement complexifier cette phase d'exploitation, rendant difficile toute spéculation sur les probabilités de réussite des divers projets.

2 – Petits satellites et petits lanceurs : une relation dissymétrique, analyse de ses enjeux et implications stratégiques

2.1 – Analyse des lancements de petits satellites

L'un des objectifs principaux de cette étude est de questionner la logique selon laquelle la multiplication des petits satellites créerait un marché spécifique pour des petits lanceurs dédiés au lancement de petites charges utiles, une hypothèse qui affaiblirait la place des lanceurs traditionnels. Le corollaire en serait l'encouragement du développement des petits satellites assurés de bénéficier de moyens de lancement répondant exactement à leurs besoins.

Deux points d'entrées sont alors pertinents pour discuter de cette question : par quels véhicules sont lancés les petits satellites et quelles sont les ambitions soutenant les projets de petits lanceurs actuellement ?

2.1.1 – Classes des lanceurs utilisés pour le lancement de petits satellites

L'histogramme ci-dessous (figure 29) présente la part de chaque lanceur par nationalités et par capacités dans la mise sur orbite des petits satellites effectuées de 2011 à 2018.

La partie basse du graphique recense les échecs tandis que la partie haute classe les lanceurs par capacité du plus petit au plus gros. Si nous reprenons les grandes classes de lanceurs, légers, moyens et lourds, il apparaît que :

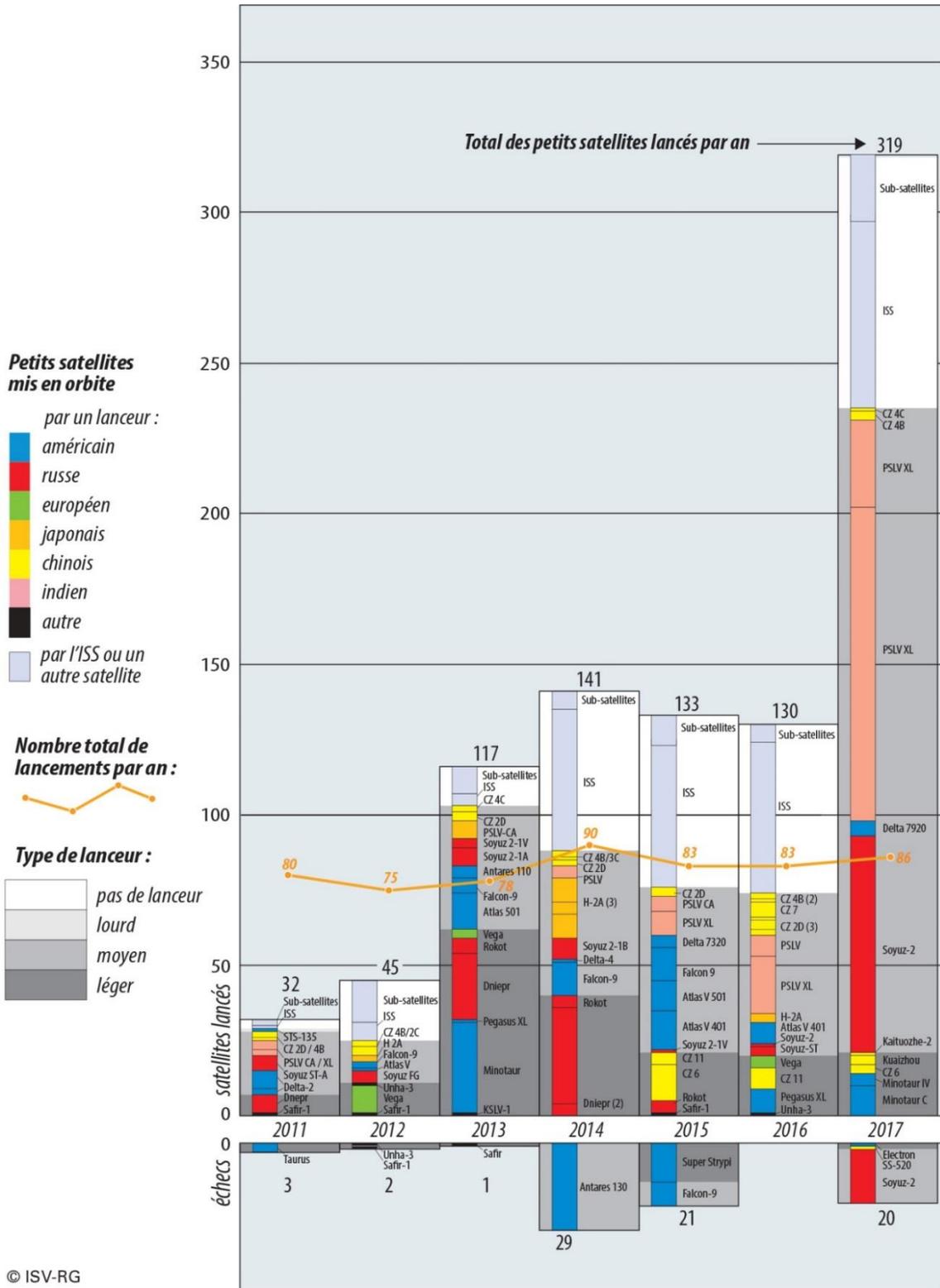
- ➔ aucun lanceur lourd n'a assuré la mise sur orbite de petits satellites pendant ces 7 dernières années ;
- ➔ la catégorie des lanceurs moyens est la mieux représentée par nationalité et par nombre de satellites lancés à partir de 2014 (qui représente un point d'inflexion) avec une part tout à fait remarquable du lanceur indien PSLV ;
- ➔ la catégorie des petits lanceurs tend à s'effacer, compte tenu des difficultés de Dniepr et Rockot qui ont représenté la grosse part des lancements de 2013 et de 2014, ainsi que de Minotaur-I issu de Minuteman, soit le segment des missiles reconvertis (cf. partie I) ;
- ➔ ce constat corrélé avec la nationalité des lanceurs complète l'image précédente en montrant que :
 - ⇒ dans la catégorie légère, les lanceurs chinois (CZ-6, CZ-11, Kuaizhou et KT-2) remplacent désormais les lanceurs russes, les Pegasus et Mino-

taur-C et IV étant à nouveau présents ces dernières années sans atteindre l'importance de l'année 2013, tandis que le lanceur Vega reste épisodique avec des lancements en 2012, 2013 puis 2016 sans participer au boom des lancements de 2017 ;

- ⇒ dans la catégorie moyenne, les lanceurs russes (Soyouz), américains (Falcon, Atlas-V en particulier) et indien (PSLV) sont les plus présents mais de façon inégale selon les années, les lanceurs chinois restant à la marge.

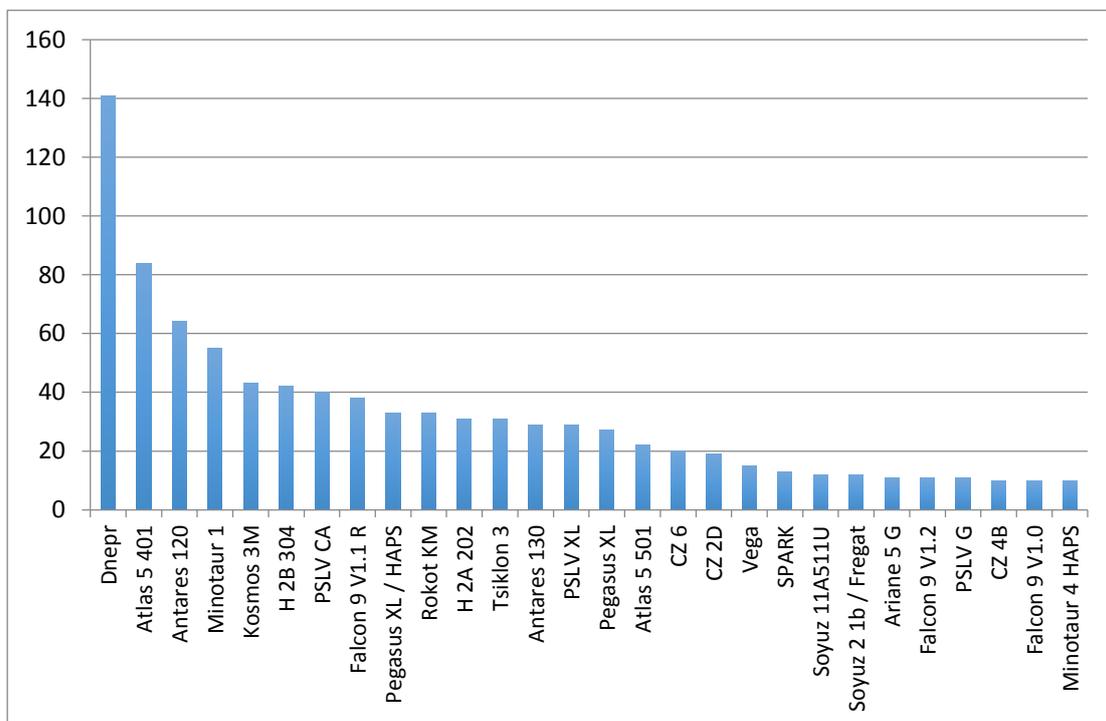
Il faut enfin noter la place souvent ignorée des lancements depuis l'ISS ou de façon plus exotique par des véhicules de ravitaillement et même parfois par d'autres satellites, même si ce cas de figure reste rare (cf. diagramme de la partie I). Il pose en tout cas la question du coût et de la disponibilité éventuelle de nano satellites stockés à bord de l'ISS et qui pourraient être mis sur orbite à courte échéance en fonction des besoins, en particulier pour le remplacement de satellites en panne. Cette option, sur laquelle nous reviendrons en partie 3 dans les scénarios, suppose que soient pris en compte des moyens de mise sur orbite permettant d'atteindre des orbites plus élevées que celle de la station. Bien évidemment, cette opportunité ne peut concerner actuellement des satellites de plusieurs centaines de kilogrammes comme ceux qui sont prévus dans les constellations actuelles mais pourrait tout à fait convenir à des projets comme celui de Swarm Technologies avec ses tout petits satellites Bee's.

Figure n° 29 : TYPE ET NATIONALITÉ DES LANCEURS ASSURANT LE LANCEMENT DE PETITS SATELLITES DE 2011 À 2018



Si l'on se situe dans une histoire plus longue, l'histogramme ci-dessous hiérarchise le nombre de lancements opérés **au moins partiellement** au profit de petits satellites par les divers lanceurs disponibles sur le marché depuis 1996.

**Figure n° 30 : LANCEURS UTILISÉS DE 1996 À 2016
POUR LA MISE SUR ORBITE DE PETITS SATELLITES**



On peut ainsi noter la part anecdotique des lanceurs lourds comme Atlas 5, H2, Falcon 9 ou Ariane 5 dont l'utilisation relève essentiellement de facteurs d'opportunité, tandis que Dniepr capte une part importante de la demande. Il est en effet arrivé à point nommé au moment de l'émergence de ce marché avec une offre compétitive du fait de la réutilisation d'anciens missiles balistiques soviétiques. La fin de son exploitation est donc un élément important de redistribution de ce marché. De même, Minotaur I, équivalent américain du Dnepr consistant en une réutilisation des missiles Minuteman, s'est également bien positionné sur ce segment.

Enfin, on constate qu'Antares 120 (ex Taurus 2), lanceur de classe moyenne d'Orbcom, ne cible pas particulièrement le segment des petits satellites, au contraire de Pegasus.

Le détail depuis 2014 des histogrammes tirés de la base permet de confirmer l'évolution récente avec la part significative de la station internationale, identifiée comme "none" dans les schémas ci-dessous.

Figure n° 31 : NOMBRE DE PETITS SATELLITES LANCÉS PAR LANCEURS EN 2014

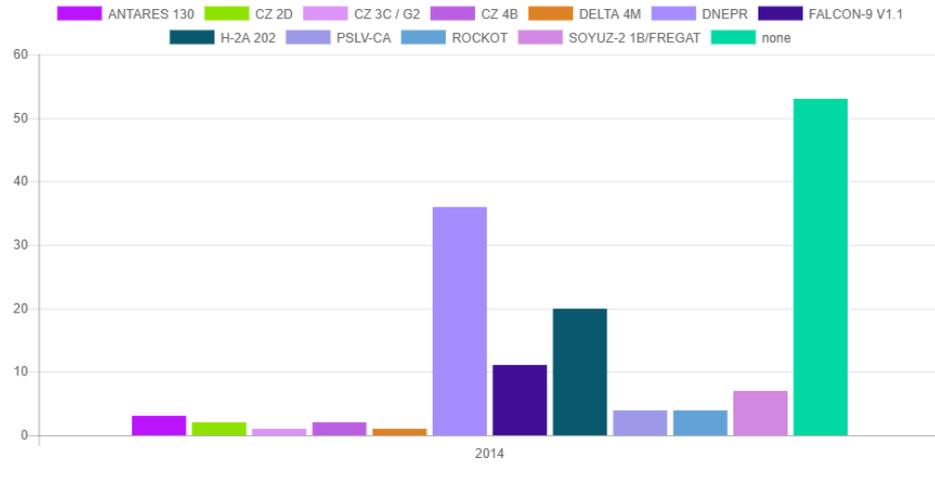


Figure n° 32 : NOMBRE DE PETITS SATELLITES LANCÉS PAR LANCEURS EN 2015

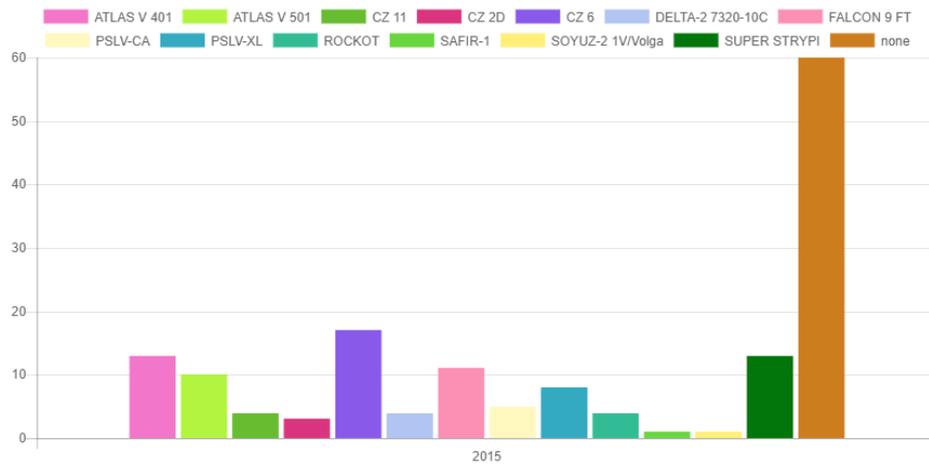
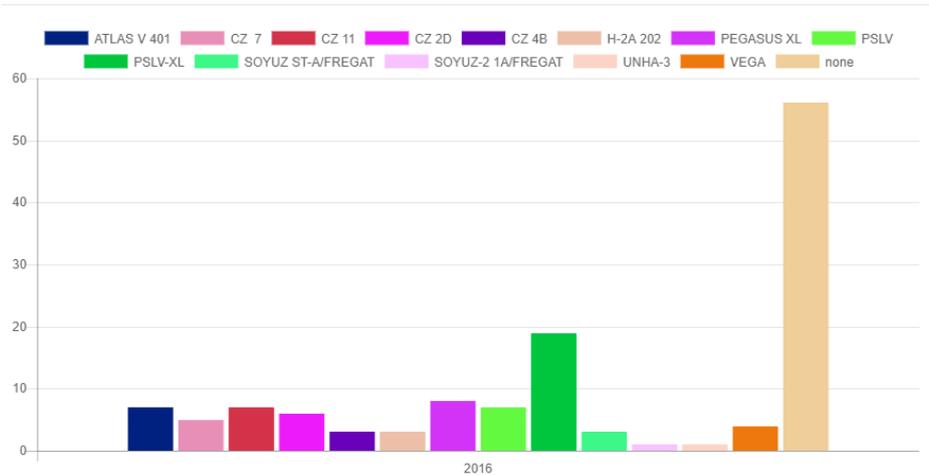
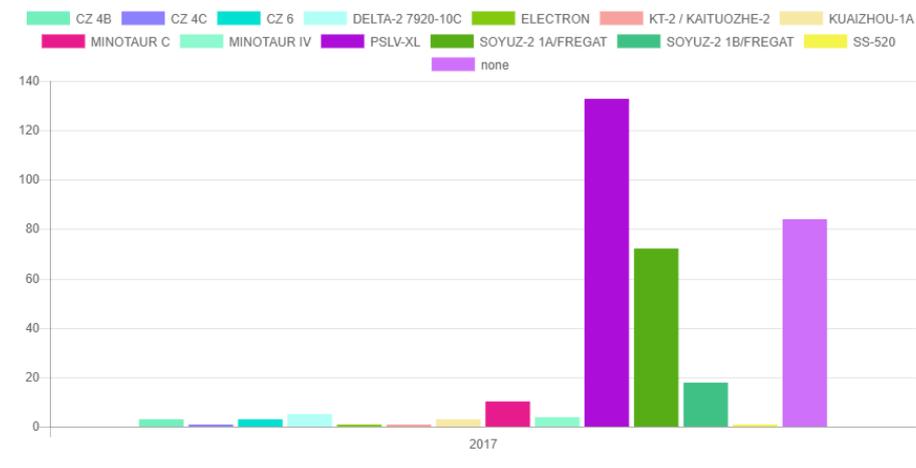


Figure n° 33 : NOMBRE DE PETITS SATELLITES LANCÉS PAR LANCEURS EN 2016



Enfin, l'année 2017 qui correspond à l'explosion du nombre de nanosats, se singularise par le rôle particulier du PSLV indien avec le lancement d'une grappe de 104 petits satellites.

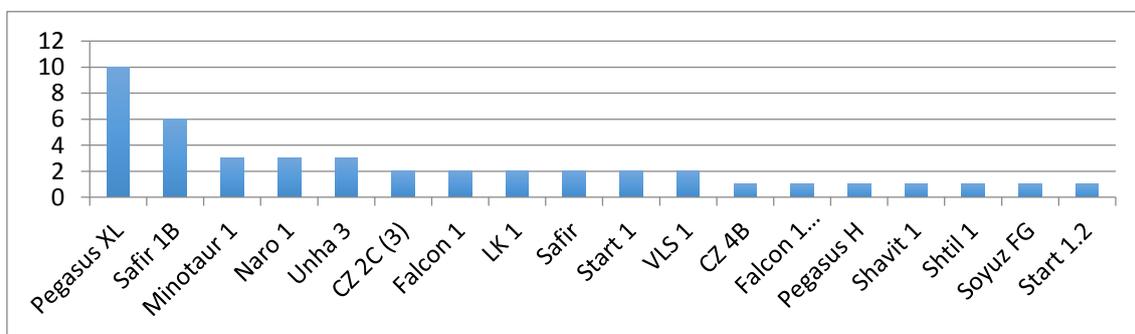
Figure n° 34 : NOMBRE DE PETITS SATELLITES LANCES PAR LANCEURS EN 2017



2.1.2 – Lancements individuels de petits satellites

La question est donc finalement d'évaluer le marché des petits lanceurs pour le lancement unitaire (ou du moins fortement personnalisé) des petits satellites. Afin d'illustrer ce segment très spécifique de la demande, l'histogramme ci-dessous récapitule les lancements tentés jusqu'à ce jour pour des lancements individuels de satellites de masse inférieure à 250 kg si bien que l'on y trouve tous les premiers lancements de satellites nationaux, un trait classique de l'activité spatiale d'un pays émergent (Iran, Corée du Nord, Corée du Sud, Brésil⁵⁵). S'il apparaît, comme on pouvait s'y attendre, que Pegasus XL, spécifiquement orienté vers ce type d'applications, est largement le plus utilisé, le nombre de lancements opérés dans ce cadre apparaît toutefois assez limité. Une évaluation plus fine devrait prendre en considération les lancements limités à 2 ou 3 petits satellites, mais les ordres de grandeur des volumes d'activité demeurent faibles.

Figure n° 35 : PETITS LANCEURS UTILISÉS DE 1996 À 2016



⁵⁵ Afin de donner une idée exacte de l'activité, les échecs sont comptabilisés.

Au final, en ne prenant en compte que les petits lanceurs aujourd'hui considérés comme opérationnels, le nombre de petits satellites lancés par ces petits lanceurs – selon la classification adoptée dans l'étude – est de l'ordre de 1/4 des lancements de petits satellites depuis 2003.

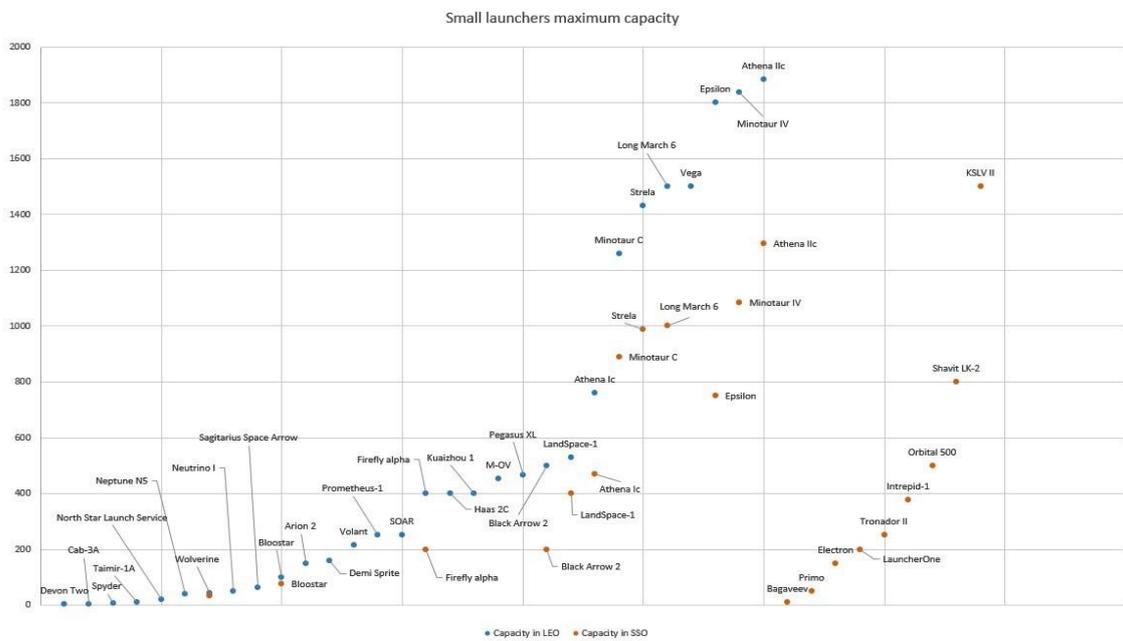
**Tableau n° 9 : NOMBRE DE PETITS SATELLITES LANCÉS
PAR LES PETITS LANCEURS OPÉRATIONNELS DE 2003 À 2018**

NAME	SATELLITES ⁵⁶	OBS	COM	T&D	SPACE SCIENCE	EARTH SCIENCE	SPACE SURVEILLANCE	CULTURAL
Long March 11 (CZ-11)	11	1	2	8				
Minotaur C	10	10						
Minotaur I	34		4	28	1	1		
Minotaur IV	14		2	9	2		1	
Rokot	32		21	8	3			
Safir	6	4		2				
Shavit	1	1						
Simorgh	0							
Strela	0							
Unha 3	3	1		2				
KUAIZHOU-1A	3	1	1	1				
Kaituoze 2	1			1				
Pegasus XL	14	8		3	3			
Vega	16	6		10				
Super Strypi	13	2		11				
Naro KSLV-1	3			3				
KT-1	3			1				
Electron	1							
Epsilon	0							
Long March 6 (CZ-6)	20		10	10				
SS-520 (3 stg)	1							
Dnepr	114	35	20	46	10	2		1
Total	300	69	60	143	19	3	1	1

⁵⁶ Petits satellites lancés (<250 kg) décembre 2017.

2.1 – Présentation des ambitions particulières concernant les petits lanceurs

La figure ci-dessous montre l'ampleur de la gamme des capacités des petits lanceurs, existants et en projet, incluant les plus légers destinés à des charges de quelques dizaines de kilogrammes.



Le nombre impressionnant de projets, en cours ou à l'étude, recensés dans le cadre de ce rapport et déjà décrits en partie I ne cesse d'interpeller sachant que :

- ➔ Le créneau commercial visé est relativement étroit ;
- ➔ La demande n'est pas encore clairement établie ;
- ➔ La probabilité de faire face à moyen terme à une offre excédentaire est élevée ;
- ➔ Le niveau de risques de développement et d'exploitation est important.

On peut ici lister les motivations extrêmement diverses de la part des divers acteurs en présence.

2.1.1 – Les acteurs privés

Outre le fait qu'il s'agit d'une activité à forte valeur technologique, cela dénote d'une très forte confiance dans le potentiel de croissance de ce secteur dans les prochaines années. De manière étonnante, cette conviction est largement partagée par les nouveaux entrants dans le domaine spatial alors que les acteurs historiques ou établis de longue date demeurent en général beaucoup plus réservés quant aux perspectives à court ou moyen terme. Sans chercher à schématiser de manière caricaturale, on peut toutefois

souligner l'irruption dans les activités spatiales d'une nouvelle génération de jeunes entrepreneurs :

- ➔ Fortement influencés par les « *Business Models* » de la Silicon Valley en particulier ;
- ➔ Soutenus par des investisseurs prêts à prendre des risques financiers élevés ;
- ➔ Inspirés par quelques exemples emblématiques tels que la réussite spectaculaire d'Elon Musk qui aura réussi en tout juste quelques années à imprimer une marque très personnelle, ambitieuse et novatrice dans la conduite des activités spatiales.

2.1.2 – Les acteurs publics

Du côté du secteur public, l'intérêt pour de telles initiatives est également notable, et peu ou prou, partout à travers le monde, les acteurs institutionnels, tout en se gardant d'intervenir directement de manière visible dans la conduite des projets, se mobilisent pour en faciliter l'avènement au travers de tous les mécanismes existants en matière de soutien à l'innovation⁵⁷ ou des dispositifs réglementaires ou juridiques à leur disposition.

Les motivations qu'on peut mettre en avant sont de natures diverses.

A.– Apprentissage technologique

Les activités lanceurs ont par essence un caractère fortement attractif pour la puissance publique pour de nouveaux entrants de par leur caractère spectaculaire, leur retentissement médiatique et leur forte composante technologique.

De plus, les petits lanceurs mettent à portée du plus grand nombre un secteur qui leur demeurait jusqu'à présent totalement hors d'atteinte et paraissait l'apanage exclusif de quelques puissances spatiales.

On peut également souligner ici la très forte proximité de nombreuses technologies des petits lanceurs de celles des missiles, ce qui peut également constituer un moteur pour certains États qui souhaiteraient se lancer dans ce type de développement sous couvert d'initiatives civiles ou commerciales.

B.– Non-dépendance

Disposer d'un petit lanceur au plan national permet de garantir une capacité autonome d'accès à l'espace. Même si celle-ci peut paraître limitée en l'état actuel des performances de ces systèmes, il s'agit d'une première étape essentielle, présentant potentiellement des possibilités de préparer des phases ultérieures plus ambitieuses.

⁵⁷ On peut citer ici le rôle de la NASA, FAA aux États-Unis. L'ESA joue également ce rôle avec différentes initiatives (voir infra), de même que la Commission avec H2020 pour SMILE et ALTAIR, par exemple.

Cette notion d'indépendance d'accès à l'espace se décline évidemment de manière très différente selon les pays considérés.

C.– Valorisation des acquis sur un créneau spécifique

Certains États ont été amenés à développer par le passé des compétences technologiques ou industrielles spécifiques, notamment en Europe dans le cadre de programmes de l'Agence Spatiale Européenne. Il peut s'agir de capacités spécifiquement liées au développement et à la production de composants ou de sous-ensembles des lanceurs européens Ariane ou Vega.

Cela est tout à fait le cas du Royaume-Uni, qui dispose au plan national de pratiquement toutes les technologies nécessaires, notamment en matière de guidage-pilotage mais a toujours joué un rôle marginal dans les programmes lanceurs de l'ESA.

D.– Exploitation de singularités géographiques

À l'image de la Guyane qui, forte de ses spécificités géographiques, a vu s'implanter le port spatial européen sur son sol, certains États mettent en avant certaines de leurs caractéristiques géographiques en vue d'opérer des petits lanceurs depuis leur sol. En effet, les petits lanceurs ne sont pas appelés à desservir les orbites de transfert géostationnaire, et des positionnements proches des pôles offrent des perspectives intéressantes pour les lancements en orbite basse et en particulier héliosynchrones.

De plus, il s'agit en général de régions isolées où les critères de sécurité et de sauvegarde par rapport aux risques de survol des zones habitées sont aisément satisfaits.

Ces facteurs sont particulièrement motivants pour des pays comme la Suède ou la Norvège, qui ont de plus développé de longue date un savoir-faire spécifique dans le cadre de l'exploitation de fusées sondes ou de télémétrie avec un site et un segment-sol déjà présents, et qui peuvent potentiellement démontrer ici toute leur valeur.

À noter à cet égard que certains projets se limitent de fait à l'exploitation locale de lanceurs non européens sans enjeux industriels autre que l'exploitation du site de lancement par des sociétés américaines ou autres dès lors qu'elles sont candidates. C'est le cas par exemple des Suédois, mais aussi des Portugais qui espèrent valoriser ainsi des installations militaires dans les Açores.

E.– Amélioration de l'attractivité de régions isolées

Ce facteur est particulièrement à l'œuvre comme on l'a vu auprès d'acteurs publics locaux souhaitant attirer une activité économique dans des régions isolées, propices à l'implantation de sites de lancement du fait des contraintes de sécurité.

Cet élan d'enthousiasme, très perceptible dès les premières annonces de services de tourisme spatial faites en particulier par Richard Branson dans le cadre de son projet Virgin Galactic, tend toutefois à s'estomper. En effet, dix années après les déclarations qui prévoyaient un déploiement en quelques mois, on ne constate toujours aucune perspective d'entrée en exploitation à court terme et certains des investissements majeurs ainsi consentis n'ont toujours pas trouvé leur justification.

F.– Rôle plus important dans le secteur des lanceurs

Dans le contexte spécifiquement européen, on se doit aussi de souligner que les petits lanceurs constituent pour certains États membres de l'Agence Spatiale Européenne en particulier, une opportunité d'accéder à un rôle beaucoup plus actif dans le secteur du transport spatial, dans lequel le leadership de la France est sans partage, ne laissant aux petits contributeurs aux programmes de l'ESA que très peu de marges de manœuvre ou d'initiative. Ce phénomène est particulièrement sensible au niveau industriel où certaines entreprises font valoir auprès de leurs délégations nationales les contraintes imposées par le maître d'œuvre industriel.

G.– Politique spatiale nationale en complément des activités ESA et Commission

Plus généralement, ces activités, potentiellement gérables à un niveau purement local sont parfois considérées comme des opportunités à saisir au plan national.

Paradoxalement, alors même que les grandes puissances spatiales européennes tendent à davantage coordonner leurs activités dans un cadre renforcé, en particulier autour des programmes mis en œuvre par la Commission dans une démarche de plus grande intégration au sein d'une politique spatiale européenne unifiée, les perspectives offertes par les petits lanceurs et les petits satellites ont pour effet de relancer ou même d'éveiller l'intérêt d'États membres de moindre poids pour des politiques spatiales strictement nationales.

H.– Reconversion de stocks de missiles

Enfin, on ne peut pas omettre l'opportunité commerciale que présente la reconversion de missiles balistiques ou tactiques pour les États qui disposent de stocks importants devenus sans intérêt stratégique.

Même si cela ne s'applique qu'aux grandes puissances militaires que sont la Russie et les États-Unis, ce phénomène a joué un rôle structurant dans le secteur, notamment côté russe dans le cadre des programmes Dniepr et Rockot.

C'est désormais du côté américain que certaines initiatives sont envisagées dans ce domaine. En effet, les autorités militaires américaines ont un fort intérêt pour des applications de petits lanceurs, essentiellement lié à des exigences de réactivité opérationnelles (« *Operational Responsive Space* » créé en 2007) pour le lancement ou le remplacement à très faible préavis de satellites en orbite basse.

Pour ce faire, le Département de la Défense envisage d'exploiter ses stocks de missiles déclassés, qui répondent parfaitement au cahier des charges. Compte-tenu des vives réactions des divers acteurs privés à cette concurrence considérée comme déloyale, il est toutefois vraisemblable que ces capacités ne seront pas appelées à être utilisées sur les marchés commerciaux ouverts, mais strictement limitées à des usages stratégiques ou liés à la défense.

L'objectif derrière cette neutralité est de ne pas biaiser un marché potentiellement très compétitif, mais également d'encourager les industriels à explorer des voies technologiques innovantes dont ils assument l'entière responsabilité et la pleine propriété intellectuelle.

Si aucune orientation de politique industrielle n'est fixée par la puissance publique, il n'en demeure pas moins que ces initiatives sont clairement perçues comme pouvant contribuer à renforcer la domination de l'industrie américaine sur le secteur en captant à la source une majeure partie d'un marché commercial potentiellement naissant⁵⁸, afin d'éviter que celui-ci n'alimente des investissements étrangers dans un secteur sensible en matière de prolifération.

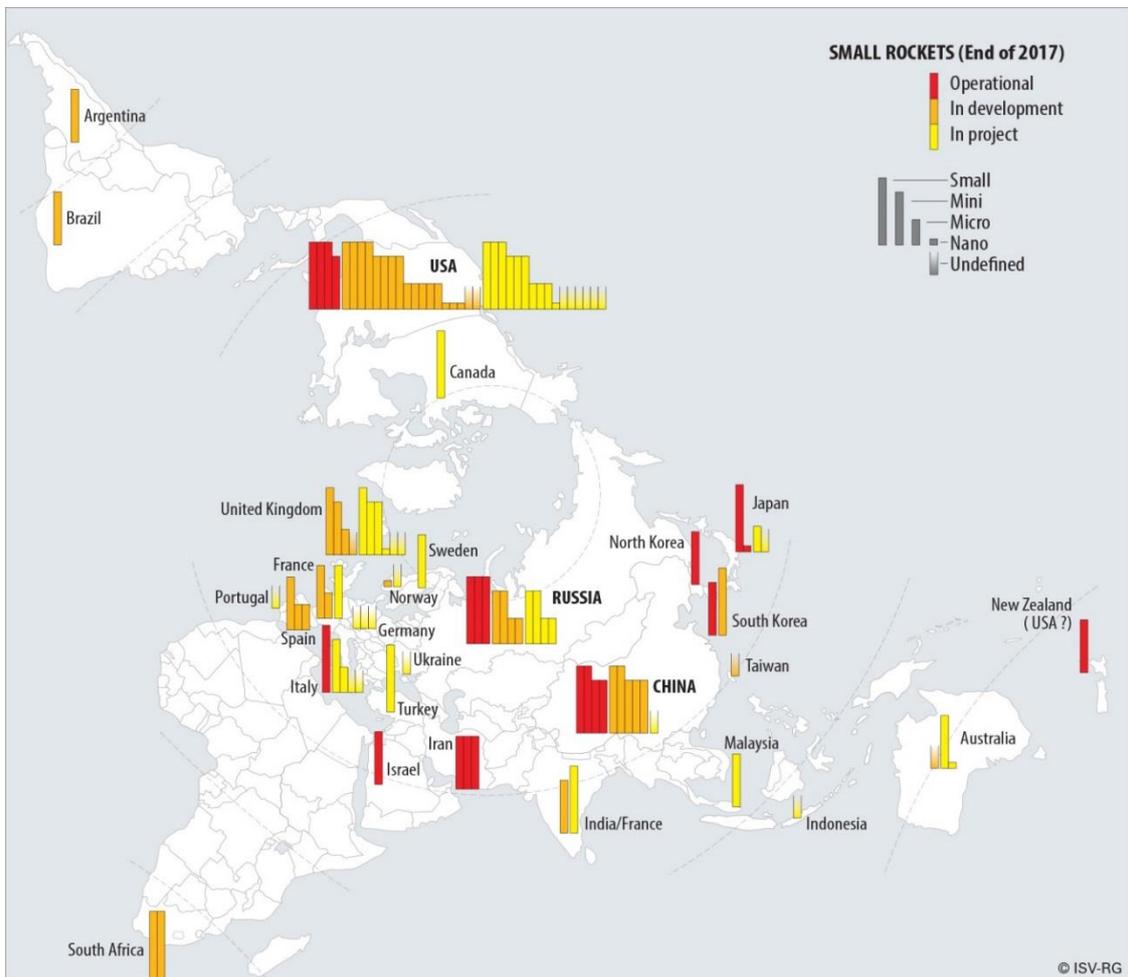
2.1.3 – Les différentes approches et leurs caractéristiques nationales

Les motivations à appuyer ou encourager les initiatives de petits lanceurs sont extrêmement différentes en fonction des pays. Le planisphère ci-après recense l'ensemble des petits satellites existants, en développement ou en projet afin de donner à voir l'ampleur du phénomène. Sans reprendre l'analyse déjà présentée en partie I, ni le fait que les projets restent sujets à caution au point que l'on ignore relativement souvent quel pourrait être l'État lanceur, si bien que la carte est construite à partir de la nationalité du maître d'œuvre, on peut rappeler les grandes lignes des politiques nationales⁵⁹ concernant le secteur des petits lanceurs.

⁵⁸ D. Querejazu, L. Randazzese, ed.by A. Hunter, K. Johnson, *Small Satellites, Big Missions- the implications of the Growing Small Satellite Market for Launch and Key Applications*, CSIS, Sept 2017 <https://www.csis.org/analysis/small-satellites-big-missions>

⁵⁹ Voir aussi les fiches pays en annexe.

Figure n° 36 : PETITS LANCEURS OPÉRATIONNELS, EN DÉVELOPPEMENT OU EN PROJET PAR NATIONALITÉ DU MAÎTRE D'ŒUVRE⁶⁰



► **États-Unis**

Le gouvernement fédéral a clairement mandaté les acteurs sectoriels institutionnels, telles la NASA mais aussi la FAA (*Federal Aviation Administration*) afin de mettre en œuvre tous les moyens disponibles en matière de soutien à la compétitivité et à l’innovation technologique dans le but de favoriser l’émergence d’une filière nationale.

Toutefois, les développements de ces systèmes n’ont fait l’objet d’aucun financement public direct en dehors de quelques cas spécifiques par le DoD pour des applications stratégiques.

À noter que la FAA a été, en particulier, chargée de délivrer des licences d’exploitation aux divers opérateurs non-gouvernementaux pour toutes les activités de lancement ou de rentrée atmosphérique opérées depuis le territoire national ou par des compagnies

⁶⁰ Mars 2018.

ou des ressortissants américains depuis des sites de lancement hors territoire national. Ce mandat s'inscrit dans une démarche de recherche de contrôle des opérateurs, et en particulier des risques de transfert de technologies sensibles.

▶ Europe

Le nombre de projets de petits lanceurs en Europe est particulièrement étonnant alors même que la demande régionale en termes de lancement de petits satellites demeure limitée. Toutes ces initiatives sont conduites à un échelon national, les quelques activités de l'ESA ou de la Commission se situant à ce jour au niveau des concepts.

Comme on l'a vu, plusieurs mécanismes peuvent être mis en avant pour tenter d'expliquer ce phénomène, pour l'essentiel dans des démarches d'émancipation d'un cadre européen inter-gouvernemental ou supranational considéré comme contraignant.

À ce stade, le critère de la recherche d'une plus grande autonomie d'accès à l'espace ne paraît pas pertinent au plan européen du fait de la faible criticité des applications actuellement envisagées à base de petits satellites et, en conséquence, de la demande institutionnelle très limitée. Seul un marché extérieur peut justifier de ce type d'approche, ainsi qu'un souci de renforcement d'une logique alternative. C'est à ce titre que l'on peut comprendre l'intérêt particulier du Royaume-Uni soucieux de capitaliser sur des initiatives heureuses comme celles de l'Université du Surrey et de démultiplier ces démarches au travers de relais comme *Catapult Satellite Applications*, le tout sur fond de Brexit pouvant aussi contribuer à une volonté d'affirmation propre dans le domaine spatial.

▶ Chine

Le mantra en Chine est de copier dans une ambition de "catch up" les réalisations les plus modernes du domaine spatial. L'on retrouve ainsi dans les multiples annonces une référence directe à Elon Musk et à la rupture rendue possible par la mise en œuvre d'une logique autre que celle du canal historique marqué par le poids et l'investissement direct de la puissance étatique dans un programme de souveraineté. Dans la pratique, il n'est absolument pas question de modifier l'organisation du secteur et la place des très grandes entreprises d'État que sont la CASC et la CASIC qui offrent déjà de petits lanceurs opérationnels, mais plutôt de les faire intervenir indirectement au travers de nouvelles sociétés qui en sont plus ou moins directement issues et sont soutenues par des fonds d'investissement proches du pouvoir, en particulier municipal (Pékin, Shanghai...) et régional.

Ainsi Expace, filiale de la CASIC, qui opère déjà les petits lanceurs KT-2 et Kuaizhou, compte bien s'assurer une part importante du marché national de petits satellites dont le nombre va croissant.

Dans la même veine, China Rocket propose 5 systèmes⁶¹ et annonce des ambitions remarquables portant sur la réduction tant du coût du lancement que de la mise en service du lanceur. Le dernier business plan repose ainsi sur un cycle de campagne de 180 jours, un minimum de 50 missions par an avec un coût inférieur de 30 % à ce qui existe sur le marché actuel.

Enfin, d'autres sociétés comme Linkspace et Landspace prétendent être capables de proposer rapidement des véhicules opérationnels pour des micro et nano satellites délivrés sur des orbites héliosynchrones à 500 km⁶². Dans ces cas particuliers, l'ouverture aux partenaires étrangers est un des impératifs permettant d'assurer la survie du programme.

▶ Russie

Le cas russe est particulièrement intéressant dans la mesure où le gouvernement insiste depuis des années sur la nécessité pour le secteur spatial de prendre une part plus importante des revenus du marché international. Or alors que les lanceurs restent un élément clef des compétences russes avec une forte reconnaissance internationale, en dépit d'échecs récents, on constate que proportionnellement aux capacités nationales et aux ambitions des autres pays membres du club spatial, la Russie n'affiche pas de programmes de grande ampleur, d'autant plus que dans les systèmes annoncés plusieurs consistent en une simple déclinaison de capacités, selon la tradition soviétique.

Ce point mérite qu'on s'y arrête. Deux phénomènes semblent en effet se conjuguer. D'une part, la difficulté de nouveaux entrants, comme Lin industrial, à s'insérer dans un réseau industriel ancien intégré au sein de la Corporation d'État Roskosmos et l'absence de financements accessibles, une difficulté récurrente de la vie économique russe perpétuellement confrontée à un déficit d'investissement. D'autre part, un intérêt faible pour un segment aussi spécifique que celui des petits lanceurs, dès lors qu'il n'y a pas de demande nationale faute d'opérateurs privés, et que la rareté des COTS liée aux faiblesses de la production industrielle russe dans le domaine de la micro-électronique et des procédés modernes de fabrication additive ou autre pour les nanosats laisse peu de perspectives d'autant plus que ce phénomène est encore renforcé par la politique des sanctions.

Enfin, l'efficacité de Soyouz et des versions légères du lanceur Angara contribue à ne pas motiver de programme national puisque ces lanceurs seront parfaitement capables de répondre à la demande de petits satellites si elle doit advenir.

⁶¹ <https://chinaspacereport.com/2016/10/19/new-chinese-commercial-spaceflight-provider-makes-debut/>

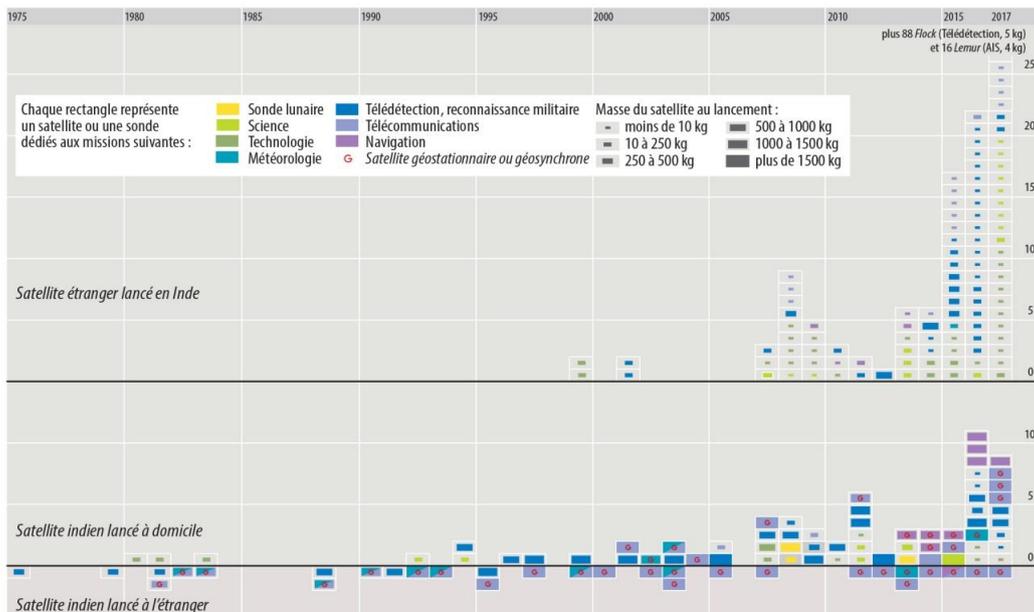
⁶² <https://gbtimes.com/chinese-commercial-rocket-company-onespace-set-for-debut-launch-in-june>
(Jan 17 2018)

► **Inde**

Alors que l'Inde a défrayé la chronique spatiale avec un nombre record de petits satellites lancés par le PSLV, l'intérêt manifesté pour le segment des petits satellites en tant que tel reste faible. On peut noter toutefois le projet de coopération avec la France qui s'inscrit dans une démarche globale de mise en synergie de compétences nationales sur des secteurs en devenir et concerne tout particulièrement les entreprises du New Space indien, qui peinent à trouver leur place dans l'écosystème national. En effet, l'originalité du cas indien – avec le rôle spécifique de l'ISRO comme agence en charge de la réalisation des programmes – se traduit par une extrême faiblesse de l'industrie nationale spatiale. La difficulté à trouver des investisseurs nationaux et la complexité pour accueillir des investissements directs étrangers dans un contexte politique qui reste confus ne permettent pas de dépasser ces limites.

Enfin, les préoccupations indiennes restent plutôt tournées vers une montée en capacité avec les nouvelles versions du GSLV pour la mise en orbite de charges géostationnaires indispensables au développement des infrastructures numériques annoncées par le Premier ministre Modi. Dans ces conditions, la mise à disposition des surplus de capacité du PSLV reste suffisante pour permettre à l'Inde d'être présente sur ce nouveau marché éventuel des petits satellites eux-mêmes d'ailleurs peu présents au niveau national ainsi que l'illustre le graphique ci-dessous.

Figure n° 37 : MASSES ET MISSIONS DES SATELLITES NATIONAUX ET ÉTRANGERS LANCÉS PAR L'INDE



▶ Reste du Monde

D'autres projets existent en Asie, avec une place particulière pour le Japon déjà longuement évoqué, mais aussi en Amérique latine (Brésil, Argentine) et en Afrique du Sud. Ils combinent des logiques d'initiation à celle de rentabilisation de ressources propres comme cela a été évoqué dans la partie I et plus haut.

2.2 – **Convergences/divergences dans les logiques petits satellites et petits lanceurs**

2.2.1 – Interrelations dissymétriques

En première approche, il semble tentant de considérer que les deux secteurs des petits satellites et des petits lanceurs sont complémentaires et interdépendants. Cette approche est renforcée par l'idée que la multiplication des constellations va supposer la mise à disposition d'une capacité de lancement dédiée disponible et mobilisable en fonction des besoins. La situation semble toutefois nettement plus compliquée.

Si le secteur des petits lanceurs ne saurait avoir d'autre justification que celle de mettre en orbite des objets de petites dimensions, une analyse plus fine met en évidence une situation d'interdépendance dissymétrique tant les options disponibles en matière d'accès aux orbites basses à moindre coût sont nombreuses.

À ce jour, le secteur des petits satellites a réussi à prospérer sur ces bases, et rien ne laisse penser que l'offre à venir des petits lanceurs sera capable de capter une part significative de cette demande, même s'il fait peu de doute que celle-ci va continuer à croître. En pratique, le recours aux petits lanceurs pour des lancements dédiés – forcément plus coûteux que les lancements par grappe ou les opportunités de « *piggy-backing* » – risque de se voir limité à la satisfaction de forte contrainte opérationnelle, ce cas de figure demeurant encore largement hypothétique.

En pratique, les deux secteurs semblent évoluer de manière indépendante en fonction de leurs objectifs de court-terme respectifs. On ne peut qu'être frappé par la relative déconnexion qui semble s'être instaurée entre la demande, qui tend à être de mieux en mieux identifiée au travers des projets de petits satellites qui sont en train de se structurer, et l'offre de lancement, qui s'annonce pléthorique par rapport à la taille réelle du marché à servir et pour laquelle aucun véritable business plan n'est présenté.

Actuellement, le secteur des petits lanceurs est totalement mobilisé par les impératifs de développement et de démonstration technologique. Le récent succès du lancement inaugural d'Electron par RocketLab montre la capacité de ces entrepreneurs à tenir leurs objectifs techniques. L'année 2018 sera riche de nombreux autres tests décisifs, mais

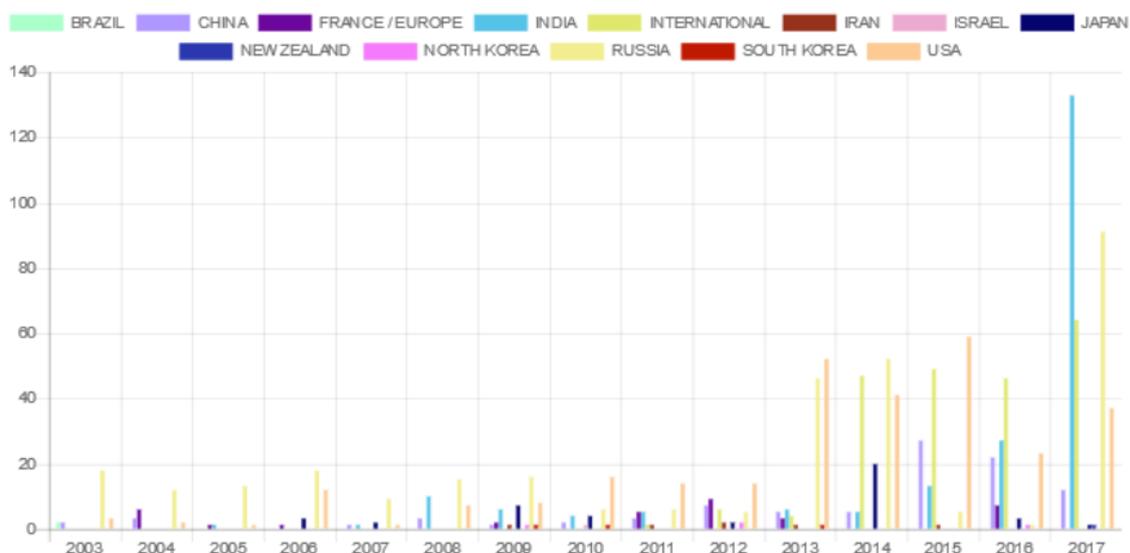
commencera également probablement à apporter des réponses quant à la viabilité économique de certains projets en cours même si les projections envisagées situent plutôt leur pleine expression aux alentours de 2020, ce qui correspond au nouveau cycle de développement annoncé pour la production des petits satellites.

En attendant, on peut constater qu'il n'y a pas de synergie entre l'importance du nombre de petits satellites nationaux (figure 38) et la capacité à les mettre sur orbite (figure 39).

Figure n° 38 : TOTAL DES PETITS SATELLITES LANCÉS DE 2003 À 2018 PAR NATIONALITÉS



Figure n° 39 : ÉTATS LANCEURS DE PETITS SATELLITES 2003-2018



2.2.2 – Nouvelles approches : mythes et réalités

Si l'idée de "rupture" liée à l'émergence des petits satellites et petits lanceurs dans le paysage de l'activité spatiale mondiale est largement répandue dans la littérature, elle mérite cependant quelques approfondissements.

Il convient de considérer séparément les évolutions dans le secteur des petits satellites et dans celui des petits lanceurs.

A.– *La rupture dans le domaine des petits satellites*

▶ **Le cas des Cubesats**

En ce qui concerne les petits satellites, l'innovation principale demeure l'invention du concept de cubesat qui se caractérise par⁶³ :

- ➔ Une architecture modulaire et flexible, disponible en « *open source* » ;
- ➔ La définition d'un standard mondial des plates-formes et des interfaces ;
- ➔ L'assemblage par « *building-blocks* » ;
- ➔ L'interchangeabilité des composants ;
- ➔ L'émergence de possibilités de lancement à coût marginal :
 - ⇒ depuis la Station Spatiale Internationale,
 - ⇒ sous forme de « *Piggy-backing* » désormais mieux admis par certains acteurs traditionnels,
 - ⇒ sous forme de « *Ride-Share* » par mutualisation de services de lancement en vue de spectaculaires lancements par grappes.

Il est à noter qu'aucune innovation technologique majeure ne saurait être mise en avant pour justifier la soudaine éclosion de ce marché. Il s'agit pour l'essentiel d'une évolution constante et continue des technologies spatiales vers des systèmes sans cesse davantage miniaturisés, et d'une recherche permanente de réduction des coûts par utilisation de composants standards (« *Off The Shelf* ») pour des applications spatiales jusque-là conduite avec des composants spécifiques.

Ces tendances étaient à l'œuvre dans les programmes institutionnels des agences, et le concept de cubesat a fructifié au moment où s'est établie la convergence entre les divers facteurs technologiques, industriels et économiques nécessaires à son avènement.

⁶³ http://www.bluecubesat.com/wpcontent/uploads/2014/05/www.cubesat.org_images_More_Papers_cps2008.pdf

Si, comme on l'a vu, les agences de développement n'ont manifesté qu'un intérêt tardif pour cette approche, il en va tout autrement pour les universités qui y ont vu un moyen efficace d'élargir le cadre de leurs enseignements et de leur activités de recherche jusqu'à des phases de mise en œuvre opérationnelle. Ce phénomène, traditionnel en Union soviétique dont les grandes écoles d'ingénieur développaient leur propre petit satellite, a été particulièrement prononcé aux États-Unis, notamment du fait d'un intérêt très précoce du DoD qui a largement encouragé et financé un grand nombre de missions technologiques à caractère exploratoire.

À noter également que la NASA a plus récemment également intégré de telles capacités dans sa programmation propre, notamment au travers de son initiative *Deep space cubesats* (cf. présentation du programme dans la fiche pays en annexe).

Sur le segment techniquement plus ambitieux des petits satellites de la classe 150-250 kg, la rupture est clairement liée à une approche de fabrication en grande série. L'exemple le plus emblématique à ce jour est celui d'OneWeb qui mise sur une définition au plus juste du besoin et un volume de production élevé pour obtenir des réductions de coût spectaculaires.

B.– La rupture dans le domaine des petits lanceurs

▶ La barrière des coûts de lancement

La rupture constatée dans le domaine des petits lanceurs est quant à elle plus nette car l'enjeu bien compris est ici de briser la barrière des coûts d'accès à l'espace largement considérée comme le principal frein à la croissance économique du secteur (voir partie 3).

Cette recherche de réduction des coûts de lancements constitue un axe permanent d'efforts de la part des opérateurs de lancement, largement soutenus en cela par les grands acteurs institutionnels civils et militaires qui y voient également leur intérêt.

De nombreux concepts ont été expérimentés en particulier depuis les années 1980 :

- ➔ Recherche de rupture technologique dans le domaine de la propulsion ;
- ➔ Emports sous diverses plates-formes aéroportées ;
- ➔ Lanceur totalement (Navette par exemple) ou partiellement réutilisable.

Finalement, aucune des pistes ne s'est alors avérée à la hauteur des attentes, notamment du fait qu'aucune alternative crédible n'a été trouvée au principe de la propulsion par éjection de masse tel que défini dès les premiers développements de véhicules spatiaux, et qui constitue un élément structurant des filières industrielles actuelles et de leurs coûts.

► L'innovation par les processus d'acquisition

C'est finalement la NASA, confrontée à la nécessité de s'affranchir de la dépendance à la Russie pour la desserte de la Station Spatiale Internationale après la fin d'exploitation de la Navette, qui a relancé avec succès cette quête sans fin de réduction des coûts. Dans une approche novatrice, elle a invité le secteur privé à lui proposer des services de lancement qu'elle s'engageait dans le même temps à approvisionner sur le long terme dès lors que ceux-ci seraient opérationnels. Cette transition d'un principe d'infrastructure publique propriétaire vers une acquisition de services « sur étagères » a pour conséquence une forte relaxation des contraintes liées aux approvisionnements publics, notamment en matière de management technique de programme ou de politique technologique et industrielle, afin de permettre aux entreprises de mettre en œuvre une approche de réduction des coûts sans concession. Space-X et, dans une moindre mesure, Orbital se sont engouffrés dans cette ouverture afin de proposer des services intégrés sur la base d'une innovation somme toute assez limitée afin de réduire les risques technologiques, mais d'une optimisation industrielle radicale, conduisant en particulier à une concentration géographique de toutes les ressources industrielles qu'aucun programme public ne saurait permettre, que ce soit aux États-Unis ou en Europe.

La quasi-totalité des développements de petits lanceurs actuellement en cours aux États-Unis a émergé dans la foulée de cette initiative fondatrice. La focalisation de ces acteurs sur le marché des petits lanceurs tient en partie seulement aux limites de leurs capacités financières. En pratique, les uns et les autres ont anticipé une forte croissance de la demande pour le lancement de petits satellites.

Comme dans le domaine des petits satellites, l'approche de base mise en œuvre par la plupart des opérateurs de petits lanceurs est celle d'une maîtrise des risques dès lors que la concentration d'énergie nécessaire aux systèmes propulsifs pose les problèmes de fiabilité en termes particulièrement aigus.

On note toutefois dans le cadre de ces divers développements un certain nombre d'innovations significatives :

- ➔ Le lanceur Electron de la société Rocket Lab, qui vient de procéder avec succès lors de son second test à la mise en orbite depuis la Nouvelle-Zélande de 3 microsatsellites commerciaux (1 satellite d'imagerie pour la société Planet et 2 satellites pour le suivi du trafic maritime pour la société Spire)⁶⁴ se caractérise en particulier sur les points suivants⁶⁵ :
 - ⇒ Coiffe et nombreux éléments structurels entièrement réalisés en matériau composite ;

⁶⁴ <https://www.rocketlabusa.com/news/updates/rocket-lab-successfully-reaches-orbit-and-deploys-payloads-january-21-2018/>

⁶⁵ <https://www.rocketlabusa.com/electron/>

- ⇒ Réservoirs d'oxygène liquide en composite carbone ;
 - ⇒ Moteur Rutherford LoX/Kérosène avec système de pompe électrique d'alimentation en carburant ;
 - ⇒ Utilisation des technologies d'impression 3D pour la production d'éléments du système propulsif.
- ➔ Le lanceur Vector bénéficie également de structures entièrement réalisées en fibre de carbone ainsi que de systèmes de pressurisation innovants ;
- ➔ Le projet européen SMILE, bien qu'encore à un stade conceptuel, prévoit d'intégrer des innovations⁶⁶ :
- ⇒ Dans le domaine de la propulsion liquide LoX-Kérosène à base de céramique afin de faciliter le rallumage ;
 - ⇒ Dans le domaine de la propulsion hybride solide/liquide ;
 - ⇒ Dans le domaine des turbopompes à coût réduit ;
 - ⇒ Dans les processus de production de matériaux composites ;
 - ⇒ Par l'utilisation de procédés d'impression 3D et de traitement de métaux par laser.

▶ Les financements publics

En ce qui concerne le financement de ces projets, il est remarquable de noter la réserve observée par les institutions, en particulier du côté américain et européen. S'agissant de développements visant à proposer des approches novatrices à la problématique du transport spatial, très peu de financements publics ont directement été dédiés au soutien de ces divers développements. La préoccupation des institutions a été ici de deux ordres :

- ➔ Éviter que les mécanismes de financement public ne viennent imposer des contraintes indues aux activités et potentiellement réduire leur efficacité. Cela a été clairement conceptualisé par la NASA, et est tout à fait emblématique de la vaste entreprise de refondation qui a été initiée au sein de l'agence.
- ➔ Ne pas interférer avec un secteur commercial qui pourrait s'avérer florissant, et éviter tout risque de distorsion de concurrence. Ce point est particulièrement critique et on a déjà pu constater en plusieurs occasions à quel point la sensibilité des investisseurs privés qui soutiennent ces projets, est exacerbée à cet égard.

⁶⁶ <http://altair-h2020.eu/>

Quelques exceptions peuvent toutefois être mises en avant :

- ➔ Le petit lanceur « Super Strypi » développé sous financement du DoD pour des applications strictement militaires. Celui-ci est à ce jour suspendu suite à un échec lors de son lancement inaugural en 2015⁶⁷ ;
- ➔ Le projet Altair de lanceur sous drone de l'ONERA financé par la Commission Européenne et par la Suisse dans le cadre d'un projet du programme cadre de recherche Horizon 2020. Il s'agit toutefois à ce stade d'un développement limité à des niveaux de maturité technologique faibles sans débouché industriel/opérationnel clairement établi.

En revanche, les acteurs institutionnels ne se désintéressent pas pour autant de cette filière et aussi bien la NASA que l'ESA ont mis en place des moyens de la soutenir tout en demeurant en retrait des choix technologiques et industriels :

- ➔ La NASA :
 - ⇒ L'Agence se positionne résolument afin de soutenir le développement et la qualification d'équipements ou de composants innovants notamment au travers de son initiative technologique « *Tipping Point* » (50 M\$ par an) ou plus largement de son programme SBIR (« *Small Business Innovation and Research* », 200 M\$ par an).⁶⁸
 - ⇒ Dans le cadre de sa « *Cubesat Launch Initiative* »,⁶⁹ elle a également récemment sélectionné sur appel d'offres 3 fournisseurs pour des services de lancement de cubesats : Virgin Orbit, Rocket Lab et Firefly. Firefly ayant connu des difficultés financières, son contrat a été ultérieurement annulé. Si l'objectif est essentiellement de soutenir des projets éducatifs à base de cubesats, la démarche mise en œuvre en l'occurrence par la NASA est clairement guidée par des objectifs de soutien à la compétitivité de la filière petits lanceurs. Pour ce faire, l'Agence a mis en place un processus d'acquisition spécifique basé sur des paiements échelonnés en fonction des livraisons, mais sans application de pénalité en cas d'échec.
- ➔ Plus récemment, l'ESA a engagé deux initiatives dans ce sens :
 - ⇒ « *ESA Light Satellite, Low-Cost Launch Opportunities (LLL)* »⁷⁰ couvrant un large spectre d'activités visant au développement de composants ou de processus pour l'optimisation des capacités d'emport de charges utiles de moins de 500 kg. Une démonstration technique est prévue dès 2019

⁶⁷ <http://spacenews.com/super-strypi-failure-blamed-on-first-stage-motor-malfunction/>

⁶⁸ https://www.nasa.gov/directorates/spacetech/solicitations/tipping_points

⁶⁹ https://www.nasa.gov/directorates/heo/home/CubeSats_initiative

⁷⁰ http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Transportation/Vega_flight_opportunity_for_multiple_small_satellites

sur VEGA-C. À noter toutefois que ce concept s’applique également au lanceur Ariane-6.

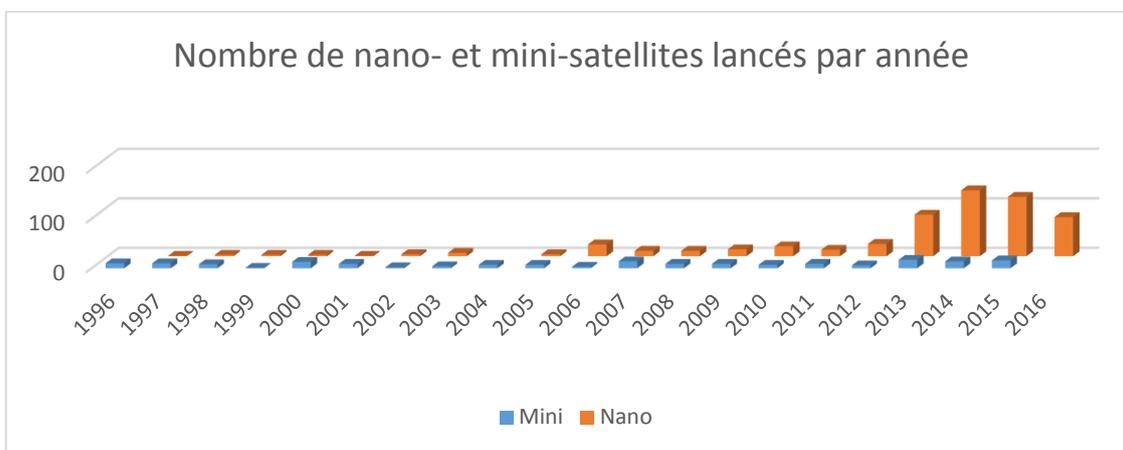
- ⇒ Série d’études parallèles sur les micro-lanceurs afin d’évaluer la faisabilité technique et la viabilité économique de plusieurs concepts pour le lancement de satellites de moins de 200 kg. La perspective est de proposer le cas échéant la mise en place de co-financements public-privé.

▶ **Les financements privés**

Si ces projets bénéficient au final d’assez peu de financements publics directs dans leur phase de développement, ils ont eu une forte capacité à attirer des fonds privés. Il ne fait aucun doute que l’augmentation des applications pouvant être mises en œuvre à base de petits satellites est une tendance qui va se poursuivre avec les progrès continus de la miniaturisation des technologies spatiales en particulier. L’enthousiasme des investisseurs privés n’est donc pas sans fondement.

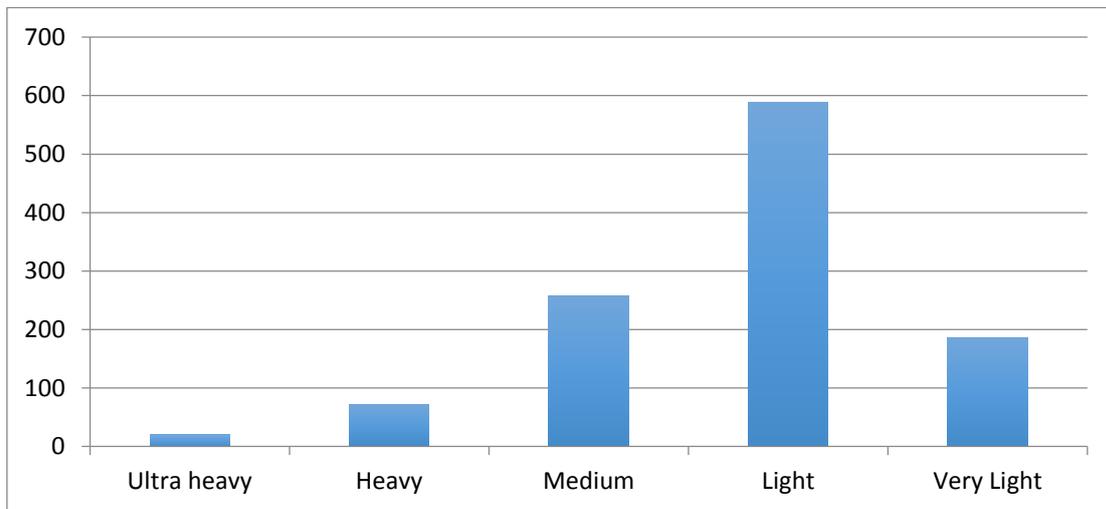
Il convient toutefois de rappeler que jusqu’à présent, le secteur des petits satellites, et notamment des cubesats, constitue le plus clair de ce marché potentiel comme le montre le graphique ci-dessous (figure 40).

Figure n° 40 : DISTRIBUTION DES LANCEMENTS DE PETITS SATELLITES PAR CLASSE DE MASSE



Il convient enfin de rappeler que ceux-ci ont prospéré sur la base d’une offre de lancement quasi-gratuite au gré d’opportunités de circonstance comme l’illustre la figure 41 ci-dessous.

Figure n° 41 : CLASSES DES LANCEURS UTILISÉS POUR LE LANCEMENT DE PETITS SATELLITES



Nota : rappel des seuils considérés dans ce diagramme :

- Ultra-Heavy : masse au décollage supérieure à 1 000 tonnes
- Heavy : masse au décollage entre 500 et 1 000 tonnes
- Medium : masse au décollage entre 300 et 500 tonnes
- Light : masse au décollage entre 100 et 300 tonnes
- Very Light : masse au décollage inférieure à 100 tonnes

La question cruciale est désormais de savoir si ce marché saura se montrer suffisamment vigoureux pour absorber le surcoût opérationnel lié à l'utilisation de lanceurs dédiés. À ce stade, rien ne permet de l'affirmer, ni d'écarter la possibilité que cet engouement ne soit pas la conséquence, au moins partielle, d'un mouvement collectif résultant au final en l'alimentation d'une bulle spéculative.

► Les financements locaux

Un dernier point concerne les ports spatiaux qui continuent de générer un grand enthousiasme et font l'objet de multiples soutiens financiers de la part des autorités locales à travers le monde. Le plus grand scepticisme paraît de rigueur sachant que les sites de lancement sont soumis à des contraintes drastiques de sécurité/sauvegarde et représentent sans exception aucune à ce jour un fardeau budgétaire à la charge des États de lancement. Il paraît donc excessivement optimiste d'escompter en faire des sources de profit, comme cela semble être l'intention des acteurs locaux les plus engagés. Faisant publiquement part de sa grande déception, les déclarations récentes du gouverneur du Nouveau Mexique aux États-Unis – qui s'était fortement mobilisé pour le projet « *Spaceport America* » – tendent à confirmer la prudence qu'il convient d'observer dans ce domaine.

2.2.3 – Bilan des changements

Il est clair que l'approche petits lanceurs / petits satellites a des conséquences profondes sur le rapport aux services exploitant les ressources spatiales en les rendant plus accessibles et ne sont plus le domaine réservé de quelques puissances spatiales.

De ce point de vue, l'impact en est positif sur l'ensemble du secteur en :

- ➔ élargissant la base d'utilisateurs ;
- ➔ renforçant l'intérêt politique pour les enjeux spatiaux ;
- ➔ diversifiant les applications et favorisant leur diffusion ;
- ➔ dynamisant le secteur par des approches résolument économiques.

En revanche, ce mouvement ne bouleverse pas véritablement les équilibres bien établis du fait des limitations intrinsèques aux petits systèmes en termes de performance technique.

Autrement dit, les services et applications de haut niveau de performance resteront l'apanage d'un nombre limité d'acteurs déterminés à préserver leur avantage.

De ce point de vue, le concept d'autonomie d'accès aux ressources spatiales largement mis en avant à l'appui de ces multiples initiatives doit être relativisé. Les systèmes à base de petits satellites ne seront probablement pas en mesure de proposer des niveaux de performance supérieurs à ce qui sera largement disponible sur une base commerciale. Ce sera le test pour apprécier la réalité de l'engagement spatial national.

Ainsi, en dehors de quelques applications gouvernementales spécifiques, en particulier aux États-Unis du fait de leur volonté de favoriser l'innovation via le secteur privé et leurs préoccupations de sécurité, les petits satellites sont donc probablement appelés à être essentiellement opérés dans un cadre strictement commercial conditionnant le choix du lanceur en fonction du meilleur rapport coût/disponibilité.

2.3 – **Implications stratégiques**

Les implications stratégiques sont de plusieurs ordres. Elles sont ici déclinées en allant du sens le plus large, celui de la dimension stratégique de cette rupture – qui n'est pas tant technologique que d'approche globale avec une dimension économique importante –, à celui de la sécurité sur terre avec la question toujours sensible de la prolifération tant des missiles que des satellites pouvant toucher à la sécurité nationale jusqu'à prise en compte des impacts sur la sécurité dans le milieu spatial lui-même.

2.3.1 – Analyse des éléments déclencheurs et de leur dimension économique

Si l'innovation technologique à proprement parler ne joue finalement qu'un rôle marginal dans l'éclosion soudaine des projets de petits lanceurs et de petits satellites et qu'aucune technologie de rupture ne saurait être identifiée comme élément déclencheur de ce vaste mouvement, celui-ci révèle, en revanche, la conjonction de plusieurs paramètres favorables devenus stratégiques :

- ➔ Maturation de la miniaturisation de technologies spatiales par ailleurs à l'œuvre dans le cadre des activités spatiales traditionnelles ;
- ➔ Mise en œuvre de processus d'acquisition publique novateurs visant à approvisionner des services privés plutôt que de mettre en place des infrastructures publiques propriétaires ;
- ➔ Allègement en conséquence des contraintes liées aux processus d'acquisition publics conduisant à ouvrir la voie à une optimisation radicale des choix technologiques et des organisations industrielles ;
- ➔ Capacité du secteur privé à accepter une prise de risques plus importante dans les phases de développement ;
- ➔ Confiance dans le potentiel de croissance du secteur des services spatiaux ;
- ➔ Abondance conjoncturelle de fonds privés sur les marchés financiers.

À bien des égards, l'année 2018 sera décisive afin d'évaluer la pertinence d'un certain nombre de choix technologiques, parfois ambitieux, faits dans le cadre de certains projets qui vont prochainement procéder à leur lancement inaugural.

Elle sera également cruciale afin de valider la pertinence des analyses de marché qui sous-tendent ces financements.

Cet aspect est celui qui reste le plus obscur. Au final, peu d'éléments sont publiquement disponibles quant à la dimension économique de ces projets. Cela tient à la nature du financement privé de ceux-ci aussi bien qu'au contexte fortement concurrentiel qui prédomine à ce stade de leur développement.

Cela peut se concevoir en ce qui concerne les projets mineurs à base de microsattelites dont les enjeux financiers demeurent limités. Cela est plus étonnant en ce qui concerne des projets majeurs comme One-Web, qui ne communiquent absolument pas sur leur « *Business Case* » qui ne fait l'objet que de vagues spéculations.

En revanche, un fort scepticisme est ouvertement observé de la part de nombreux observateurs autorisés quant à la viabilité économique des multiples projets de petits lanceurs en cours. Ce scepticisme est en particulier alimenté par les observations suivantes :

- ➔ Comme vu précédemment, si la perspective de croissance de la demande en petits satellites ne semble pas devoir être remise en cause, rien ne permet d'affirmer à ce jour qu'il existera effectivement un marché pour le lancement individuel (ou par petits lots) de petits satellites par des petits lanceurs.
- ➔ En effet, les opérateurs de petits satellites ont démontré à ce jour leur capacité à élaborer des stratégies de lancement à faible coût et penser que leur exploitation permettra de dégager des marges suffisantes pour couvrir de tels coûts additionnels demeure de l'ordre de la spéculation.
- ➔ Une autre motivation pourrait être de faire face à des contraintes d'exploitation fortes afin de devoir procéder à faible échéance à la maintenance d'infrastructures opérationnelles (complément ou remplacement de satellites en orbite). De telles éventualités ne paraissent pas crédibles à court ou moyen terme en dehors de peut-être quelques cas de figure exceptionnels qui ne sauraient constituer une demande structurante.
- ➔ Dans un tel contexte, les opérateurs de petits satellites ne disposant pas d'un cœur de marché bien identifié et pérenne, ils devront agréger une demande disparate, qui compliquera leur phase d'exploitation.
- ➔ Les observateurs les plus optimistes considèrent que quelques opérateurs de petits lanceurs à travers le monde (2 ou 3) pourraient suffire à faire face dans des conditions économiques acceptables à une demande aussi volatile et sporadique. On ne peut qu'être frappé par la multiplication effrénée des projets en cours (une centaine de projets ont été recensés dans le cadre de cette étude), qui laisse entrevoir des jours difficiles pour nombre d'entre eux.
- ➔ Enfin, une hypothèse fondatrice dans l'approche petits satellites / petits lanceurs est celle de la flexibilité des marchés spatiaux, à savoir la croissance de la demande proportionnellement à l'abaissement des coûts, comme cela est le cas dans les modèles économiques de consommation de masse. Une telle flexibilité paraît dans une certaine mesure avérée en matière de services à destination d'une vaste base de clients comme cela semble devoir être le cas pour les applications à base de petits satellites. En revanche, elle paraît assez illusoire en ce qui concerne la demande de lancement. Du moins, n'a-t-elle jamais été observée dans l'exploitation des systèmes de lancement opérationnels.

Tout ceci conduit à regarder plus précisément l'évolution de la relation industrielle qui devient cruciale. En effet, en matière de processus d'approvisionnement, l'approche petits lanceurs / petits satellites se distingue à plusieurs égards des méthodes traditionnellement applicables aux systèmes spatiaux :

- ➔ Le plus souvent, l'approvisionnement est contracté en termes de service ou de livraison en orbite ;
- ➔ Les contrats sont établis en conditions économiques forfaitaires ;
- ➔ Le fournisseur assume une part de risque importante, notamment en ce qui concerne les phases de développement éventuelles ;
- ➔ Corrélativement, le niveau de contrôle du client, qu'il soit public ou privé, est réduit, et le fournisseur dispose d'une grande latitude dans ses choix technologiques et industriels ;
- ➔ Il est toléré une plus grande probabilité d'échec.

Cette approche a des conséquences profondes sur la relation client/fournisseur qui tend ainsi à se rapprocher des modèles standards en vigueur dans d'autres secteurs industriels traditionnels.

Il n'en demeure pas moins que le niveau de risque associé au développement et au lancement d'un système spatial reste élevé par rapport à des fournitures industrielles plus classiques. La question se pose alors de la bonne adéquation du niveau de couverture de risque par les fournisseurs par rapport à leurs marges financières. En d'autres termes, au plan industriel, le risque doit être rémunéré et un niveau de risque élevé va généralement de pair avec des marges commerciales confortables. Rien ne permet à ce jour de juger de la bonne adéquation de ces deux paramètres, et le bilan sur ce point précis ne saurait être tiré qu'après plusieurs années d'exploitation.

2.3.2 – Enjeux de sécurité sur terre : relations entre les compétences missiles et petit lanceur

Une majorité des petits lanceurs classés comme opérationnels, avec les réserves indiquées comme évoqué en partie I, ont été développés en filiation avec les missiles (14 lanceurs sur 21) mais ne concernent qu'un nombre bien spécifique de pays (figure n° 42).

Sans surprise, la réutilisation des stocks de missiles à des fins de lancements commerciaux est clairement une option choisie par les États-Unis et la Russie. Quant à la Chine, Israël, l'Iran et la Corée du Nord, il s'agit avant tout d'une stratégie d'opportunité, une capitalisation technologique sur un tronc commun de compétences. La figure n° 43 reprend la répartition géographique des lanceurs issus de filiations missiles.

Figure n° 42 : NOMBRE DE LANCEURS AVEC UNE FILIATION MISSILE

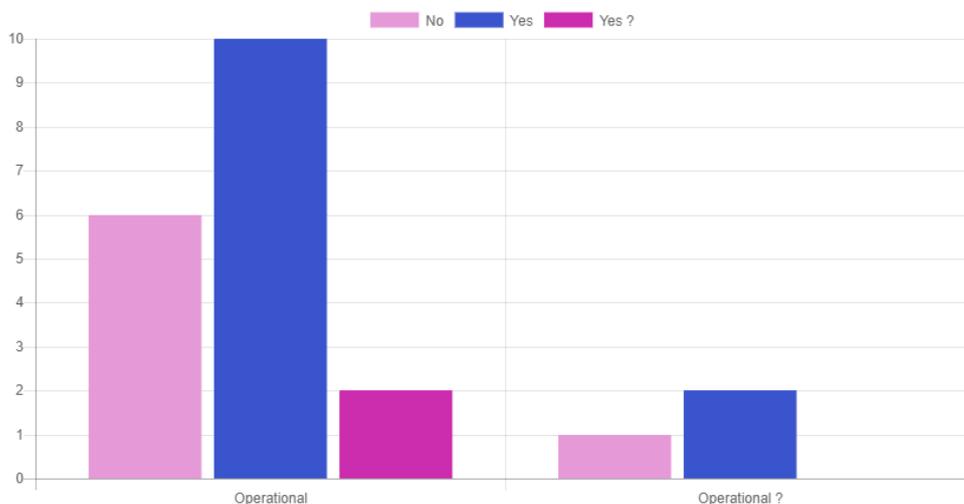
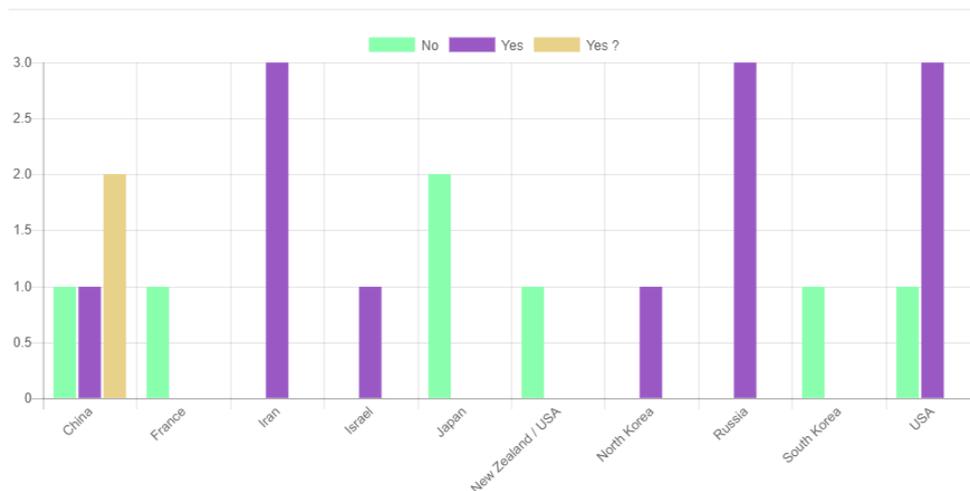


Figure n° 43 : RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE DES LANCEURS ISSUS DE FILIATIONS MISSILES



Il est clair que nombre de technologies mises en œuvre dans les petits lanceurs sont proches de celles nécessaires à la réalisation de missiles balistiques :

- ⇒ Guidage/pilotage ;
- ⇒ Dynamique de vol ;
- ⇒ Structures ;
- ⇒ Commande/Contrôle, etc.

De ce point de vue, les autorités de contrôle des exportations de technologies sensibles, américaines en particulier, ont l'intention de rester vigilantes quant aux risques de prolifération potentiels. Les réglementations ITAR sont donc pleinement applicables à tous les échanges commerciaux et industriels appelés à être réalisés dans ce cadre.

En revanche, dans le domaine de la propulsion, à l'exception de la réaffectation de stocks de missiles ou d'intercepteurs, vraisemblablement appelés comme on l'a vu à ne servir que des objectifs liés à la sécurité nationale, la majorité des petits lanceurs en cours de développement exploitent des systèmes de propulsion liquide (ou hybride). Les deux figures suivantes indiquent les choix de propulsion effectués pour les lanceurs en développement et les pays concernés.

Figure n° 44 : TYPE DE PROPULSION DES LANCEURS EN DÉVELOPPEMENT

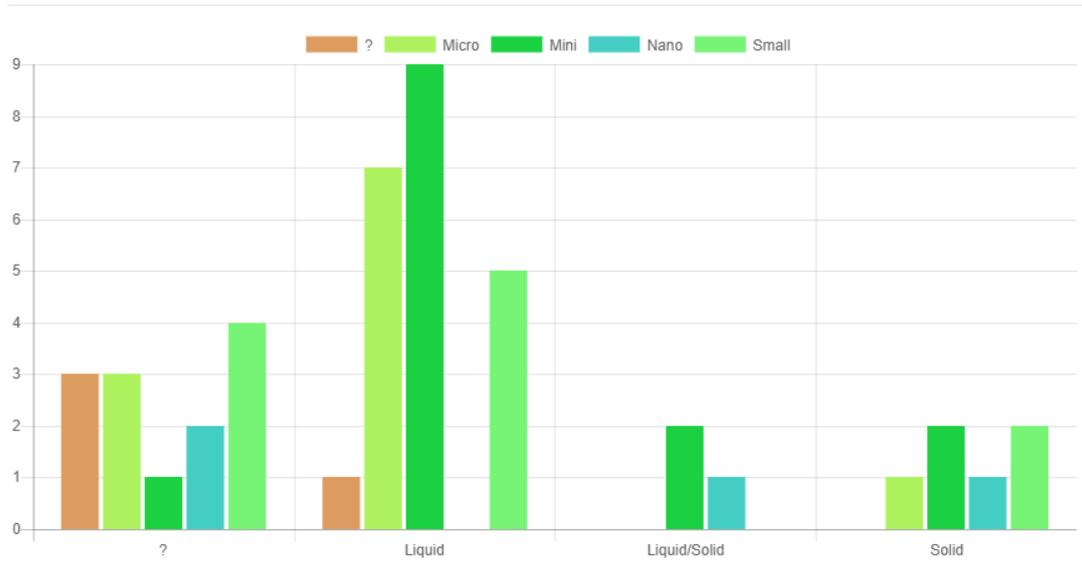
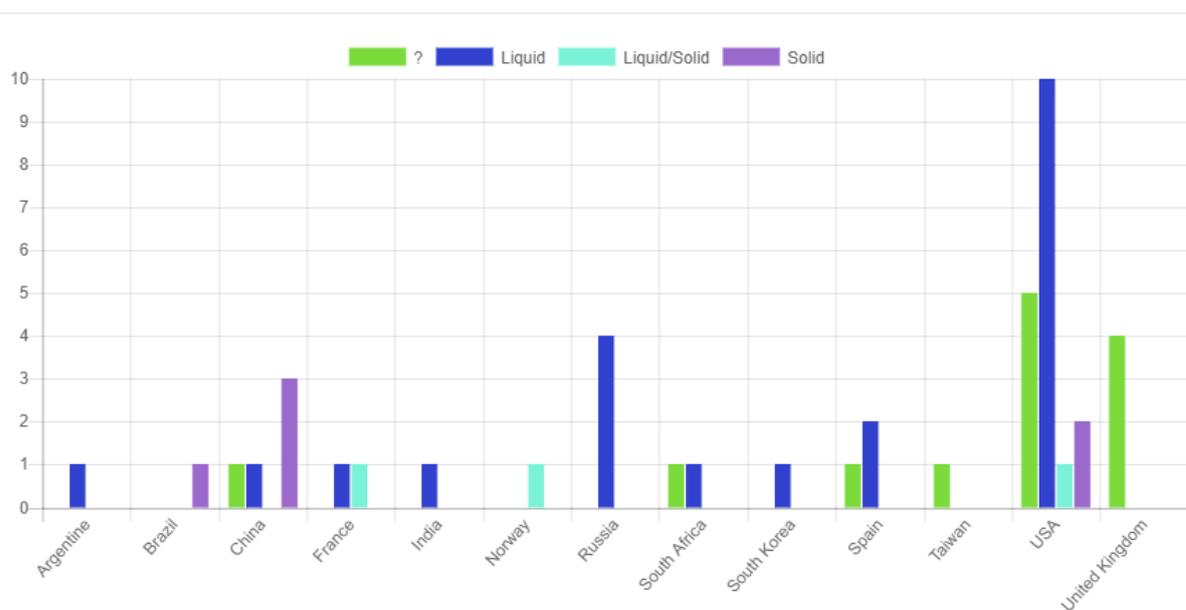


Figure n° 45 : RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE DES TYPES DE PROPULSION POUR LES LANCEURS EN DÉVELOPPEMENT



Cela répond évidemment à une logique économique qui conduit les opérateurs à sélectionner les options techniques les moins coûteuses et les plus flexibles. La conséquence en est que l'utilisation de petits lanceurs commerciaux à des fins militaires n'apparaît pas comme une éventualité crédible. En effet, les applications purement militaires sont soumises à des contraintes opérationnelles de mise en œuvre à court terme que seuls des systèmes à propulsion solide sont à même de proposer.

Par ailleurs, le risque de développer des compétences missiles sous couvert de développement de petit lanceur est très minime comme l'avait démontré une précédente étude réalisée en 2013 pour le compte du CSFRS, « *Prolifération Spatiale et Sécurité Internationale* », par une partie de l'équipe de recherche actuelle. Le fait que deux États au cœur des préoccupations internationales en matière de prolifération nucléaire et balistique, l'Iran et la Corée du Nord, figuraient parmi les nouveaux venus en matière de lancement a largement contribué à donner l'idée que le développement d'un lanceur servait essentiellement à masquer un programme de missile, à tester des éléments clefs (propulsion, guidage...) et à renforcer une posture internationale en mettant la communauté internationale au défi de réagir. Cette étude, qui avait notamment procédé à une analyse technologique, concluait que la notion de prolifération spatiale est très largement construite dès lors que l'on ne peut trouver aucun véritable cas de développement d'une capacité balistique directement à partir de technologie spatiale. L'acquisition d'une compétence spatiale répond à des argumentaires particuliers, dans un contexte donné, avec des moyens et des ambitions spécifiques. Les plus fréquemment cités sont :

- ➔ L'idée que la compétence spatiale participe directement de la sécurité nationale au travers des programmes de surveillance de la Terre en particulier.
- ➔ L'image que le pays veut donner de lui-même à des fins aussi bien de fierté nationale que d'influence à différentes échelles régionale et internationale.
- ➔ La maîtrise de technologies considérées comme indispensables à l'indépendance nationale.
- ➔ L'intérêt de la recherche et développement dans le domaine spatial afin de favoriser l'innovation.
- ➔ L'apport des outils spatiaux au développement économique du pays et au rattrapage de la modernité dans un domaine de haute technologie, pour les pays émergents.

La maîtrise de l'accès à l'espace représente le seul moyen pour un État de profiter de ces différents volets de l'activité spatiale puisqu'elle lui permet d'être autonome. L'état du marché international du lancement laisse penser que l'offre étant bientôt supérieure à la demande, tout pays pourra s'assurer du lancement d'un satellite dès lors qu'il est prêt à payer. Pour autant la dépendance demeure dans son principe même.

Enfin, il nous faut remarquer qu'aucun des nouveaux petits lanceurs recensés dans la base, qu'ils soient en développement ou en projet, n'est lié à une filière missile, en l'état actuel des informations dont dispose l'équipe.

2.3.3 – Petits satellites et enjeux de sécurité terrestre

A.– *Le cas de la diffusion de l'imagerie spatiale à haute résolution*

L'observation de la Terre depuis l'espace est, depuis ses origines, un des domaines les plus sensibles en termes de sécurité nationale⁷¹. Pensé initialement par les États-Unis pour permettre une cartographie de l'Union soviétique et l'établissement de plans de frappe éventuels dans le cadre de la stratégie nucléaire, le programme Corona a finalement eu un effet stabilisateur en montrant l'inexistence du *missile gap*, et en permettant *in fine* la signature des accords de désarmement SALT/ABM de 1972 et 1978, les satellites militaires de reconnaissance américains et soviétiques remplissant les tâches de vérification indispensables à l'établissement d'une confiance réciproque⁷². Pour autant, ces images à haute résolution restaient strictement confidentielles et la baisse progressive du seuil de résolution des satellites civils a généré d'âpres débats sur les risques qu'ils faisaient courir à la sécurité internationale. Le verrou a finalement été franchi dans les années 2000 avec la décision américaine d'autoriser la diffusion commerciale d'une imagerie métrique, les progrès technologiques récents permettant des images d'une résolution bien inférieure puis l'intégration de données issues de plusieurs capteurs optique et radar et la banalisation de leur usage dans de multiples systèmes d'information géographique. La dernière étape, celle du *data cube*⁷³, ouvre une nouvelle ère dans le traitement des masses énormes de données ainsi collectées leur conférant une nouvelle valeur.

Il n'est plus question désormais que les images prises de l'espace soient réservées à quelques pays même si les caractéristiques des satellites militaires restent mieux adaptées aux besoins opérationnels du renseignement et de la défense nationale. La société Planet Labs offre ainsi, grâce à ses 200 cubesats en orbite, une couverture de la Terre renouvelée toutes les 24 h avec des images dont la résolution peut atteindre 80 cm⁷⁴.

Pour rappel, le tableau suivant présente des exemples de détection possible en fonction des résolutions.

⁷¹ C. Dubois, M. Avignon (dir), *Observer la Terre depuis l'espace*, Dunod, 2014.

⁷² I. Sourbès, « Armement et désarmement de l'espace », *Revue Stratégique*, (pp. 195-222), in *Stratégie*, 3^{ème} trim, n°47, 1990.

⁷³ <http://news.itu.int/water-and-the-data-cube-revolution-analysis-ready-satellite-data-for-better-decisions/>

⁷⁴ Suite à des rachats successifs, Planet exploite en effet, outre ses cubesats, les satellites Rapid Eye plus lourds et plus performants.

Tableau n° 10 : EXEMPLES DE DÉTECTION POSSIBLE EN FONCTION DE LA RÉOLUTION DES SATELLITES D'OBSERVATION

GSD (m)	Examples of detection capabilities
+9.00	<ul style="list-style-type: none"> • Distinguish urban and agricultural areas, wetlands/floodplains, forests • Detect medium-sized port facilities, major highway and rail bridges over water • Observe weather patterns and natural resource distribution
9.00–4.50	<ul style="list-style-type: none"> • Detect large buildings (e.g., factories, hospitals, sports stadiums, etc.) • Identify road layouts on major highway systems • Detect large ships and aircraft (not by type) • Identify water current direction by color variations
4.50-2.50	<ul style="list-style-type: none"> • Detect individual houses in residential areas • Observe road layouts in urban areas • Detect large ships by type • Distinguish between large and small aircraft • Identify trains (not individual railway cars)
2.50-1.20	<ul style="list-style-type: none"> • Distinguish between farm buildings (e.g., barns, silos, etc.) and residential housing • Identify sports courts (e.g., tennis, basketball, etc.) • Detect small boats (4.5-6 m in length) in open water • Identify individual railway tracks • Detect large fighter jets by type
1.20-0.75	<ul style="list-style-type: none"> • Detect individual railway cars and trains by type • Identify larger than two-person tents at an established camping ground • Observe large animals in grassland (e.g., elephants, giraffes, rhinoceros, etc.) • Identify cars in parking lots
0.75-0.40	<ul style="list-style-type: none"> • Roughly detect individual persons • Distinguish between station wagons and sedans • Detect electric/telephone poles in residential areas • Observe foot tracks in grassland and barren areas • Detect spare tire on a mid-size truck
0.40-0.20	<ul style="list-style-type: none"> • Detect limbs (arms, legs) on a person • Identify individual steps on stairways • Identify rocks, stumps, and mounds in fields and forest clearings • Identify underwater pier footings • Detect small aircraft by type
0.20-0.10	<ul style="list-style-type: none"> • Detect facial features (partial discrimination of some features) • Identify individual small animals (e.g., cats, dogs, piglets, etc.) • Detect windscreen wipers, grill detailing, and license plates on vehicles
-0.10	<ul style="list-style-type: none"> • Identify construction or gardening tools (e.g., saw, level, shovel, pick, etc.) • Identify license plate numbers/vehicle registration numbers on trucks • Detect individual barbs on barbed wire fence • Identify individual grain heads on wheat

Cette idée de transparence est au cœur du discours de Planet souvent présenté comme une startup typique des idéaux de la côte Ouest et de la mise à disposition d'images gratuites aux scientifiques du monde entier⁷⁵. Ce volet n'est cependant pas le seul et la photo satellite d'un porte-avions chinois au large de l'île de Hainan le 27 mars 2018 a fait le tour des médias⁷⁶.

⁷⁵ <https://www.bloomberg.com/news/features/2017-06-29/the-tiny-satellites-ushering-in-the-new-space-revolution>

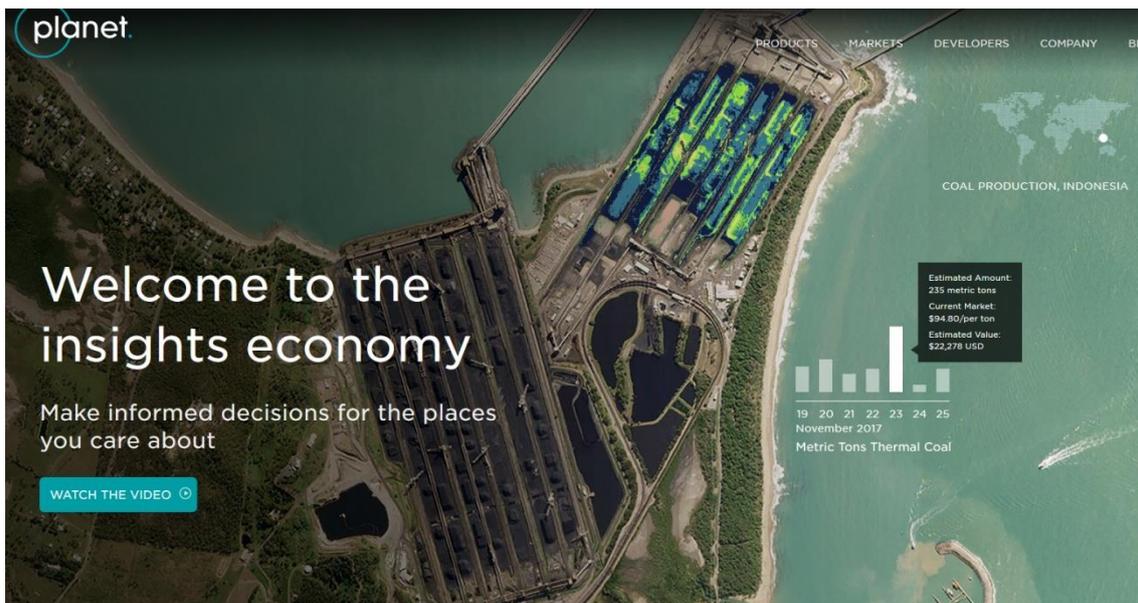
⁷⁶ « Exclusive: Satellite images reveal show of force by Chinese navy in South China Sea », Reuters, 27 mars 2018. <https://www.reuters.com/article/us-china-defence/exclusive-satellite-images-reveal-show-of-force-by-chinese-navy-in-south-china-sea-idUSKBN1H3135>

Figure n° 46 : PORTE-AVIONS CHINOIS PHOTOGRAPHIÉ PAR UN SATELLITE PLANET



Cette « prolifération » des données et des services bouscule l'accès aux sources de renseignement traditionnellement réservé à la puissance publique et offre sans aucun doute de nouvelles opportunités à des acteurs non-étatiques dépassant la question de la sécurité militaire directe pour concerner aussi celle de la sécurité économique avec des interprétations d'images tout à fait significatives⁷⁷.

Figure n° 47 : PAGE D'ACCUEIL DU SITE PLANET.COM



⁷⁷ <https://www.planet.com/>

De fait, la revue de la littérature américaine et les entretiens que certains membres de l'équipe ont pu avoir avec des responsables politiques montrent que, en l'état, les États-Unis, s'ils n'ignorent pas les risques induits par la large diffusion de données, changent quelque peu les termes du débat jusque-là classique d'opposition entre les aspects commerciaux et la sécurité⁷⁸ pour s'orienter vers la notion de transparence au service de la sécurité. Le raisonnement postule que plus il y a de sources d'informations disponibles, plus il est difficile de cacher quelque chose, et ce dans un contexte où les États-Unis sont finalement ceux qui disposent des moyens les plus importants et entretiennent l'effort le plus marqué pour accroître encore leur avantage dans l'espace, le bonus supplémentaire étant de détourner d'éventuels nouveaux entrants en proposant des images de qualité. La question demeure de savoir si le gouvernement se garde la possibilité en cas de crise de décréter un embargo au risque de démontrer les limites d'une dépendance américaine même relevant du secteur privé pour les États tiers, en particulier.

Cette idée de transparence devient de plus en plus la référence et se retrouve dans les enceintes internationales discutant du spatial dont le COPUOS. On voit ainsi apparaître des systèmes européens mais aussi chinois et même russes, Chine et Russie se trouvant ainsi contraintes de choisir la voie de la transparence même si celle-ci ne figure pas vraiment dans leur ADN politique.

B.– La stratégie américaine délibérée d'un renforcement de l'initiative privée

La publication, le 23 mars 2018, par la Maison-Blanche⁷⁹ d'un résumé de la nouvelle *National Space Strategy* confirme la volonté politique nationale d'asseoir une domination spatiale américaine dans tous les secteurs notamment par l'expansion d'un secteur privé qui viendra compléter et renforcer les investissements publics :

« The National Space Strategy prioritizes regulatory reforms that will unshackle American industry and ensure we remain the leading global provider of space services and technology. »

Parallèlement, les analystes américains développent tout l'avantage qu'il y aurait à penser une architecture spatiale s'appuyant sur le secteur privé. L'étude *Fast Space*, conduite par l'Air University de la Maxwell Air Force Base, mettait en avant :

« À Fast Space architecture envisions an ecosystem of concepts, capabilities, and industrial partnerships that make speed the defining attribute of advantage in space. »

⁷⁸ J. C. Baker, K. M. O'Connell, R. A. Williamson ed, *Commercial Observation Satellites, At the Leading Edge of Global Transparency*, Rand-ASPRS, 2001, 643 p.

⁷⁹ <https://www.whitehouse.gov/briefings-statements/president-donald-j-trump-unveiling-america-first-national-space-strategy/>

Des indices de ce changement de regard sont perceptibles dans les efforts faits par les institutions de défense américaines, comme l'US Air Force, qui ont des programmes de développement de cubesats militaires. Bien plus, l'étude *Fast Space*⁸⁰ met en avant tout l'avantage à tirer du développement de grandes constellations de petits satellites pour les futures architectures spatiales militaires, en insistant sur le fait qu'une architecture « *marked by rapid reconstitution of proliferated constellations and on-demand user-defined engagement, could leap past the conditions of conventional stalemate built by our competitors* »⁸¹. Cette idée est depuis largement reprise dans de nombreuses publications⁸² et la DARPA se positionne en faveur des petits satellites en tant qu'ils peuvent renforcer la préparation des forces en effectuant les mises à niveau nécessaires et en fournissant de nouvelles charges utiles⁸³. En outre, ils sont perçus comme pouvant offrir une capacité de « résilience », notion très souvent évoquée aux États-Unis, devenant ainsi une sorte de police d'assurance pour les gros satellites militaires en cas de conflit⁸⁴.

Ceci se traduit par l'encouragement du développement de petits satellites, voire de petits lanceurs pour disposer de réponses diversifiées en cas de détérioration des capacités américaines. L'importance du budget militaire américain permet ainsi d'assurer aux sociétés privées un adossement de commandes garanties qui crédibilisent d'autant leur *business model*.

Cette démarche est ancienne et marque une continuité qu'il convient de rappeler. C'est ainsi que depuis les directives déjà éditées par l'Administration Obama en 2016 sur la politique spatiale commerciale de la NOAA, cette agence gouvernementale doit renoncer à développer certains de ses propres programmes pour les transférer à des acteurs privés, en particulier pour l'occultation radio effectuée par de tout petits satellites⁸⁵.

Cet intérêt pour le soutien aux initiatives privées couvre de fait toute la gamme des besoins associés. C'est ainsi que le développement d'un système privé de surveillance spatiale dont les instances gouvernementales sont clientes garantit aux exploitants de

⁸⁰ *Fast Space: Leveraging Ultra-Low Cost Space Access for 21st Century Challenges*, Maxwell Air Force Base, AL: Air University, 2017 – [www.airuniversity.af.mil/Portals/10/Research/documents/Space/Fast %20Space_Public_2017.pdf?ver=2017-03-10-113507-743](http://www.airuniversity.af.mil/Portals/10/Research/documents/Space/Fast%20Space_Public_2017.pdf?ver=2017-03-10-113507-743)

⁸¹ Idem note 83, p. 1-2.

⁸² Voir par exemple Todd Harrison et al., *Implications of Ultra-Low-Cost Access to Space*, March 21, 2017, CSIS – https://csisprod.s3.amazonaws.com/s3fspublic/publication/170316_Harrison_UltraLowCostAccess_Web.pdf?LPQ6EI200hsZglqXWA8bYrdWfIQ4ucPJ ; Philip Stockdale, Scott Aughenbaugh, and Nickolas Boensch, « Low-Cost Access to Space: Military Opportunities and Challenges », *Defense Horizons* n°83, National Defense University, Février 2018, 16 p.

⁸³ « Could small satellite usage double by 2020? », *Defense System*, 22 juin 2017, <https://defensesystems.com/articles/2017/06/22/darpa-satellites.aspx>

⁸⁴ « Smallsats promoted as « insurance » for national security space systems », *Space News*, 22 juin 2017 <http://spacenews.com/smallsat-systems-promoted-as-insurance-for-national-security-space-systems/>

⁸⁵ [http://www.noaanews.noaa.gov/stories2016/images/NOAA %20Commercial %20Space %20Policy.pdf](http://www.noaanews.noaa.gov/stories2016/images/NOAA%20Commercial%20Space%20Policy.pdf)

constellations de petits satellites la possibilité d'utiliser des moyens dédiés à coûts moindres puisque répartis sur un grand nombre d'utilisateurs. Dans la même veine, à l'autre bout de la gamme, l'achat en nombre de données d'imagerie et de capacités de télécommunications conforte aussi un modèle privé avec pour corollaire la multiplication de projets portés par des startups. Celles-ci sont éventuellement rachetées par la suite comme la constellation d'O3b, initialement pensée par Greg Whyler pour assurer les besoins en internet des autres 3 milliards de personnes (*Other 3 billions*) qui n'y ont actuellement pas accès, désormais possédée par SES pour assurer la desserte en internet des passagers de bateaux de croisière.

Cette convergence américaine et son effet de rouleau compresseur posent désormais aux autres États la question de la nécessité ou non de développement indépendant de capacités équivalentes ou plus probablement moindres. C'est donc la question de l'autonomie qui se trouve par-là posée en creux, en particulier pour les Alliés européens dont les industriels sont partenaires des programmes américains.

L'intérêt manifesté par la DGA pour les opportunités pour la défense offertes par le « New Space », tant sur le plan des technologies de miniaturisation que sur le plan de « nouvelles synergies qui peuvent émerger entre les domaines militaire et civil » témoigne de cette prise de conscience⁸⁶.

2.3.4 – La question de plus en plus sensible de la sécurité dans l'espace

L'impact de la multiplication des satellites dépasse la question de la sécurité terrestre *stricto sensu* pour concerner aussi la sécurité du milieu spatial, un des éléments relevant de la sécurité spatiale⁸⁷.

La potentialité de faire des nanosatellites des objets offensifs et non plus passifs, avec des capacités antisatellites est réelle. Cependant cet aspect est à minorer par le ratio avantage/désavantage dans le cas d'une utilisation offensive d'un petit satellite voire d'un cubesat par un pays en position asymétrique face à une grande puissance spatiale⁸⁸.

Il n'en demeure pas moins que l'augmentation du nombre de satellites dans l'espace avec la prolifération à venir des petits satellites pose des défis importants à la communauté internationale, notamment sur la question de l'encombrement spatial en orbite basse⁸⁹ et par suite la question des débris et des risques de collisions associés. Les procédures

⁸⁶ *Aerodefensenews*, N° 200, jeudi 22 mars 2018.

⁸⁷ Une étude particulière, « Sécuriser l'espace extra-atmosphérique, éléments pour une diplomatie spatiale », a été rendue sur ce sujet au CSFRS en 2015 (voir p. 278 notamment) <https://www.csfrs.fr/recherche/projets-realises/SEEA>

⁸⁸ Voir à ce sujet SEEA qui traite particulièrement de la question des armes antisatellites, notamment par les pays émergents dans le spatial.

⁸⁹ Voir à ce sujet Christophe Bonnal, *Pollution spatiale : l'état d'urgence*, Ed. Belin, 2016, 240 p.

de fin de vie connues des satellites telles que les désorbitations sont contraignantes de par l'énergie électrique ou le carburant qu'elles nécessitent. Or, certains petits satellites, notamment des cubsats, sont dépourvus de système de propulsion, ou du moins de système suffisamment puissant pour ajuster leur orbite, afin de minimiser leur poids et taille. Certes, le problème est minoré si les satellites sont positionnés en orbite basse (usure naturelle) inférieure à 500 km mais majoré au fur et à mesure que l'altitude augmente. Il apparaît vraisemblable que la règle dite des « 25 ans » qui préconise que tout satellite se trouvant en orbite basse rentre dans l'atmosphère avant un quart de siècle ne puisse être appliquée dès lors que l'on se trouve sur une orbite supérieure à 700 km⁹⁰.

Les projets de constellations actuelles, s'ils se concrétisent, et l'augmentation exponentielle des acteurs privés vont dès lors questionner considérablement les gouvernances spatiales, tant nationales qu'internationales, actuelles⁹¹. Sur le plan national, on peut noter par exemple comme défis majeurs les procédures d'attribution de licences commerciales et les procédures de contrôle aux exportations. Sur le plan international, on peut lister outre la gestion des débris, celle des radios-fréquences, mais également le *Space Traffic Management*, la question des interférences, etc.

Enfin, il nous faut questionner le dimensionnement et les capacités de surveillance de l'espace dans ce contexte de croissance annoncée du nombre d'objets spatiaux. La taille minimale de détection par le système de surveillance spatiale américain est de l'ordre de 10 cm⁹². Ceci a été confirmé par l'actualité récente et le lancement sans autorisation des satellites *SpaceBee 1 à 4*, à peine 10 cm de côté par 3 cm de haut, par un PSLV indien le 12 janvier 2018. Développés par Swarm Technologies, petite startup américaine, une autorisation de la *Federal Communications Commission* (FCC) était nécessaire, autorisation refusée en décembre 2017. La FCC argumentait son refus en raison de la taille des satellites, trop petits selon elle pour pouvoir être détectés usuellement⁹³. Au-delà des aspects juridiques que soulève ce lancement sans autorisation, le débat s'est également focalisé sur les capacités de détection des systèmes de surveillance de l'espace. Or, un acteur privé, Leolabs, startup qui veut fournir une surveillance des débris spatiaux dédiés en orbite basse, déclara n'avoir aucun problème pour les détecter⁹⁴.

⁹⁰ Cette règle des 25 ans est d'ailleurs, en France, une des dispositions de l'Arrêté du 31 mars 2011 relatif à la réglementation technique en application du décret n° 2009-643 du 9 juin 2009 relatif aux autorisations délivrées en application de la loi n° 2008-518 du 3 juin 2008 relative aux opérations spatiales <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000024095828&categorieLien=id>

⁹¹ Bhavya Lal, Emily J. Sylak-Glassman, Nayanee Gupta, *Global Trends in Civil and Commercial Space* (Presentation), IDA, 2017, <https://www.ida.org/idamedia/Corporate/Files/.../d5682final.pdf>

⁹² Brian Weeden, « Small Satellite Space Traffic Management », https://swfound.org/media/99980/weeden-smallsat_stm.pdf

⁹³ « Below the size threshold at which detection by the Space Surveillance Network (SSN) can be considered routine. » In « The US government said no. Swarm Technologies launched its satellites anyway », 20 mars 2018, <https://qz.com/1230354/swarm-technologies-how-the-silicon-valley-start-up-launched-satellites-without-government-permission/>

⁹⁴ Idem note 93.

Ce problème de détection des objets de plus petite taille n'est pas nouveau, cependant. Déjà en 2016, un panel de spécialistes réunis lors de la conférence annuelle AMOS (*Advanced Maui Optical and Space Surveillance Technologies*) insistait sur la nécessité de changer de vision au sujet des cubesats, expliquant qu'ils n'étaient en rien nuisibles mais au contraire constituaient une part importante d'un nouvel écosystème spatial⁹⁵ dont il convient toutefois de prendre toute la mesure.

Il faut noter à ce propos que faute de mettre en œuvre le développement d'une SSA dédiée avec un échéancier contraint, mais fidèle à son intérêt pour le respect de règles de bonne conduite dans l'espace et la préservation du milieu spatial pour une utilisation durable, l'Europe s'implique nettement pour une meilleure compréhension de la gestion des satellites en fin de vie. Le programme QB50⁹⁶ – développé avec le soutien de l'ESA et de l'Union européenne et sous la conduite du Von Karman Institute – a ainsi conçu une expérience d'étude de la thermosphère et des phénomènes de rentrée atmosphérique avec une constellation de 50 cubesats internationaux lancés depuis l'ISS en avril 2017.

⁹⁵ « Are cubesats a nuisance to space situational awareness efforts? », *Space News*, 23 septembre 2016, <http://spacenews.com/are-cubesats-a-nuisance-to-space-situational-awareness-efforts/>

⁹⁶ <https://www.qb50.eu/index.php/community>

3 – Bilan et Perspectives

L'objet de l'étude était d'analyser les effets de l'irruption d'acteurs privés issus du monde du numérique caractéristique du New Space engendrant la multiplication de projets de constellations et le développement de petits lanceurs dédiés à terme à ce nouveau marché. Après plusieurs mois de travail en équipe, les résultats montrent une situation complexe et ouvrent de nouvelles pistes. Ils appellent à une vision nuancée liée à l'enchevêtrement des besoins, des logiques et des temporalités. Ils soulignent aussi le décalage entre le modèle américain marqué par son écosystème, dans lequel les acteurs privés se développent avec le soutien d'acteurs publics qui restent bien présents, et celui des autres membres du club spatial faisant bien apparaître le statut particulier de l'espace européen.

3.1 – Analyse des éléments de rupture

3.1.1 – Nouvelles modalités, nouveaux processus ?

L'avènement des petits lanceurs et des petits satellites constitue clairement une rupture dans la conduite des opérations spatiales au sens large à travers le monde dont il convient de prendre la mesure du fait de son caractère vraisemblablement irréversible et potentiellement structurant à moyen terme.

En rendant l'espace plus accessible, cette rupture se conjugue à plusieurs niveaux.

A.– Au plan technologique

L'évolution la plus visible et la plus spectaculaire est clairement l'émergence des cubesats, qui se caractérisent par :

- ➔ Une approche résolument standardisée des éléments constitutifs ;
- ➔ Une réutilisation extensive de solutions éprouvées ;
- ➔ Une optimisation des processus de test et d'intégration ;
- ➔ Une acceptation résolue d'une probabilité d'échec beaucoup plus élevée que dans les approches traditionnelles.

Il est à noter que toutes ces caractéristiques sont peu compatibles avec les règles généralement imposées dans le cadre de la mise en œuvre de programmes publics de soutien à la R&T, en particulier dans le contexte européen. En effet, de manière générale, le soutien financier public est conditionné à des objectifs bien identifiés de développement

de nouvelles technologiques et se concentrent sur les phases amont des développements, rechantant le plus souvent à soutenir des activités à faible valeur technologique telles que celles liées aux processus productifs, considérées comme trop proches du marché.

On peut ici également souligner le très faible enthousiasme initial – voire de l'hostilité – des agences spatiales traditionnelles à travers le monde pour les systèmes cubesats. Qu'il s'agisse de la NASA, de l'ESA de ROSCOSMOS, du CNES ou du DLR, aucune de ces agences n'a joué un rôle moteur dans l'émergence de ces filières :

- ➔ Réticentes à voir remettre en cause la nécessité de développements spécifiques dédiés qui constitue le fondement même de leur mission ;
- ➔ Ne croyant pas en la capacité de tels systèmes à soutenir des applications opérationnelles et encore moins à servir leurs objectifs propres.

Cela explique en grande partie la situation paradoxale actuelle, où la puissance publique, notamment en Europe, est très peu présente sur ce secteur considéré pourtant comme innovant mais assez loin du "*technology push*" qui est souvent présent dans la culture des agences et caractérise plutôt leur démarche.

B.– Au plan commercial

L'évolution du secteur spatial mondial dans son ensemble ces dernières décennies, a toujours été caractérisée par une recherche constante et sans concession de l'augmentation des performances des systèmes spatiaux :

- ➔ Résolution des satellites d'observation ;
- ➔ Précision des systèmes de positionnement ;
- ➔ Capacité d'emport des lanceurs ;
- ➔ Bande passante des transpondeurs ;
- ➔ Précision des instruments scientifiques ;
- ➔ Optimisation de la masse ;
- ➔ Fiabilité des systèmes.

La vision qui sous-tend cette recherche permanente d'amélioration est celle d'une demande publique ou de marchés privés structurellement stimulés par une compétition internationale en perpétuelle quête de capacité technique accrue. Les considérations économiques, sans y être secondaires, postulent que la demande, fortement solvable, accueillera favorablement une offre renouvelée pour peu qu'elle soit plus performante.

Il est intéressant de souligner que l'approche des petits lanceurs et des petits satellites s'inscrit en rupture et à contre-courant de cette tendance historique en misant sur l'émergence d'une demande pour des services spatiaux « *Low Cost* », proposant des niveaux de performances limités à des coûts attractifs. Cette approche est facilitée par le faible investissement requis ce qui facilite la prise de risque potentielle d'une telle attitude.

C.– *Au plan opérationnel*

C'est au plan opérationnel que la rupture générée par l'approche mini-satellites est la plus évidente. En effet, en proposant des systèmes abordables à un nombre accru d'utilisateurs, notamment grâce au concept des cubesats, elle conduit à une « massification » de la demande – toutes proportions gardées s'agissant de systèmes spatiaux – et ouvre la voie à une mutualisation de moyens : commandes de mini-satellites par lots pour des utilisateurs et des applications diverses, lancement par grappes impressionnantes de plusieurs dizaines, voire centaines de satellites en même temps.

Une conséquence immédiate en est la multiplication des initiatives et des intervenants, souvent nouveaux-venus dans un secteur jusqu'alors caractérisé par une offre restreinte et stable, fortement concentrée autour d'acteurs gouvernementaux ou industriels fortement soutenus par la commande publique.

L'irruption en masse de nouveaux entrants venus d'autres secteurs, financés par des fonds privés et soumis à des objectifs ambitieux de retour sur investissement conduira probablement à terme à l'adaptation ou au renforcement du cadre réglementaire applicable à ces activités afin de préserver les ressources de l'environnement spatial, qui risquent de se voir exploitées avec une intensité qui n'avait pas été anticipée.

D.– *Au plan politique*

Il convient également de ne pas négliger l'impact généré par l'élargissement de l'offre en technologies spatiales associée aux petits satellites, et à la plus grande accessibilité à l'espace proposée par les petits lanceurs.

La conjonction de ces phénomènes conduit à un vif intérêt d'un plus grand nombre d'acteurs gouvernementaux qui se sentaient jusque-là exclus ou peu concernés par des enjeux qui ne leurs semblaient pas à leur portée. Cela a pour conséquence de faire voler en éclats le cercle restreint et privilégié des puissances spatiales établies et il faut s'attendre à voir s'inviter autour de la table des discussions des affaires spatiales des intervenants jusqu'alors discrets ou peu enclins à faire entendre leur voix que sont les petits pays.

Ce phénomène est déjà sensible au niveau des Nations Unies dans le cadre du COPUOS (*Committee for the Peaceful Use of Outer Space*),⁹⁷ où se discute en particulier en ce moment la définition de règles internationales applicables au transport et aux opérations en orbite en vue d'assurer une exploitation durable de l'environnement spatial.

Au-delà des éléments de ruptures que l'on peut constater sur les plans technologique, commercial, opérationnel ou politique, il apparaît cependant pour nombre d'observateurs que le coût d'accès à l'espace reste un facteur principal et déterminant. Non seulement pour la mise en place possible d'un nouveau « *business model* » mais également pour stimuler des approches radicales en matière de conception et de fabrication des satellites. Certains, comme Martin Sweeting, fondateur du *Surrey Satellite Technology Ltd* (SSTL), avancent qu'il faudrait une réduction des coûts d'accès à l'espace de 90 % pour encourager des changements fondamentaux⁹⁸. Or, de nombreux analystes alertent sur une idée qu'ils considèrent comme fautive à savoir qu'un petit lanceur serait synonyme d'un prix au kilogramme plus bas pour les petits satellites⁹⁹, la notion de petit lanceur n'incluant pas les programmes dédiés à l'emport de très faibles charges¹⁰⁰.

3.1.2 – L'enjeu majeur des coûts d'accès à l'espace

Qu'appelle-t-on le coût d'accès à l'espace ? La revue de la littérature, principalement américaine, utilise une définition large qui va au-delà du prix du kilogramme en orbite :

*« It is not only, or even primarily, launch costs. While today the cost of a space launch vehicle is a major factor in the cost of access to space, other costs such as the cost of launch infrastructure, launch operations, and the size and number of payloads required to operate a capability in space, contribute greatly to the cost of access to space. »*¹⁰¹

⁹⁷ <http://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/copuos/index.html>

⁹⁸ Martin Sweeting, « Modern Small Satellites—Changing the Economics of Space », Proceedings of the IEEE, Vol. 106, No. 3, March 2018.

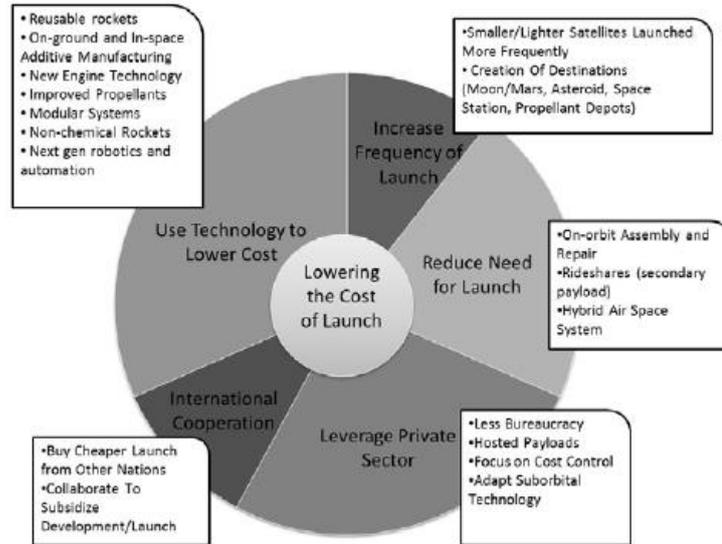
⁹⁹ Martin Sweeting, « Modern Small Satellites—Changing the Economics of Space », Proceedings of the IEEE, Vol. 106, No. 3, March 2018 ; Bhavya Lal, and al., *Global Trends in Small Satellites*, IDA paper P-8638, Juillet 2017, <https://www.ida.org/idamedia/Corporate/Files/Publications/STPIPubs/2017/P-8638.pdf> ; Timo Wekerle, José Bezerra Pessoa Filho, Luís Eduardo Vergueiro Loures da Costa, Luís Gonzaga Trabasso, « Status and Trends of Smallsats and Their Launch Vehicles — An Up-to-date Review », *Aerosp. Technol. Manag.* vol.9 no.3 São José dos Campos July/Sept. 2017, pp. 269-286.

¹⁰⁰ Par exemple, une fusée-sonde transformée ou un nano lanceur ou tout système ne requérant pas d'infrastructure sol significative.

¹⁰¹ Todd Harrison et al., *Implications of Ultra-Low-Cost Access to Space*, March 21, 2017, CSIS, p. 1 https://csisprod.s3.amazonaws.com/s3fspublic/publication/170316_Harrison_UltraLowCostAccess_Web.pdf?LPQ6EI200hsZglqXWA8bYrdWfIQ4ucPJ ; Définition que l'on retrouve aussi par exemple dans Philip Stockdale, Scott Aughenbaugh, and Nickolas Boensch, « Low-Cost Access to Space: Military Opportunities and Challenges », *Defense Horizons* n°83, National Defense University, Février 2018, 16 p.

La figure ci-dessous reprend les principaux facteurs qui influent sur le coût d'accès à l'espace¹⁰².

Figure n° 48 : LES DIFFÉRENTES APPROCHES POUR RÉDUIRE LES COÛTS DE LANCEMENT



Aujourd’hui, la majorité des petits satellites sont lancés en tant que charge utile secondaire sur des lanceurs moyens et lourds ce qui a l’avantage de baisser les coûts mais ne permet pas d’avoir forcément une date de lancement et une orbite désirées.

Dans l’objectif de répondre à ce qui est perçu comme un marché potentiellement prometteur, de multiples initiatives ont vu le jour pour développer des petits lanceurs. Pour autant, de nombreux défis sont à relever pour leur viabilité économique même entendue comme une rentabilité d’exploitation et non pas de développement. Parmi ceux-ci on peut relever :

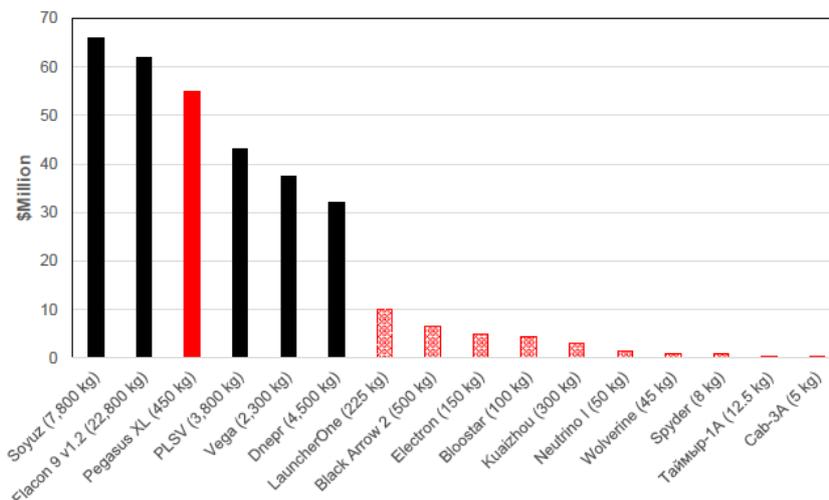
A.– La véracité des prix annoncés

Le tableau ci-dessous reprend les prix par lancement des principaux lanceurs de petits satellites (barres pleines) et en développement (barres hachurées)¹⁰³.

¹⁰² *Global Trends in Space Volume 2: Trends by Subsector and Factors that Could Disrupt Them*, p. 42 <https://www.ida.org/STPI/ExploreSTPIResearch/STPIPublications>

¹⁰³ Bhavya Lal, and al., *Global Trends in Small Satellites*, IDA paper P-8638, Juillet 2017, p. 103 <https://www.ida.org/idamedia/Corporate/Files/Publications/STPIPub/2017/P-8638.pdf>

Figure n° 49 : PRIX PAR LANCEMENT POUR LES PRINCIPAUX LANCEURS



Pour de nombreux analystes, ces projections de coût sur les lanceurs en développement ne sont pas très réalistes¹⁰⁴. D’une part, l’industrie des lancements et des services associés n’évolue pas dans un contexte de concurrence parfaite et plusieurs gouvernements soutiennent encore directement ou indirectement leur base industrielle lanceurs.

Par ailleurs, des pays comme les États-Unis, pour des raisons économiques et de sécurité, imposent des règles de contrôle aux exportations qui obèrent tant le développement de certains lanceurs (Brésil, Argentine) que les charges utiles que des lanceurs étrangers pourraient emporter (Chine, Inde).

Finalement, la rentabilité et par suite le réel potentiel commercial des entreprises dans le secteur spatial dépendront plus de la stabilité et de la prévisibilité des différentes politiques publiques des pays concernés que des prix qu’elles factureront¹⁰⁵. En outre, les projections effectuées sur la base d’une évaluation de l’innovation technologique concluent que les alternatives permettant une baisse réelle des coûts par rapport aux conceptions conventionnelles d’un lanceur ne seront pas disponibles dans un futur proche. L’étude, produite en 2012, par Young et Mossman pour le compte de l’*Air Force Research Laboratory*, passant en revue les innovations technologiques majeures à l’étude reste à ce

¹⁰⁴ Timo Wekerle, José Bezerra Pessoa Filho, Luís Eduardo Vergueiro Loures da Costa, Luís Gonzaga Trabasso, « Status and Trends of Smallsats and Their Launch Vehicles : An Up-to-date Review », *Aerosp. Technol. Manag.* vol.9 no.3 São José dos Campos July/Sept. 2017, pp. 269-286.

¹⁰⁵ Henry R. Hertzfeld, « The State of Space Economic Analyses: Real Questions, Questionable Results », *New Space*, Vol. 1, No. 1, 2013, pp. 21-28.

sujet largement d'actualité¹⁰⁶. Utilisant une méthode d'évaluation basée uniquement sur des considérations techniques, ils ont proposé 3 critères :

- ➔ la faisabilité technique ;
- ➔ les effets d'échelle ;
- ➔ les avantages en termes de coûts : -\$/kg pour charge utile > 500 kg et -\$/kg pour charge utile < 10 kg (nanolancement).

De même, en 2016-2017, l'Air University a conduit une recherche d'envergure sur les implications des évolutions du secteur spatial marqué par l'entrée massive, ces dernières années, du secteur privé aux ambitions commerciales fortes. Le rapport qui en a résulté, *Fast Space: Leveraging Ultra Low-Cost Space Access for 21st Century Challenges*¹⁰⁷, met en avant que la réduction des coûts de lancements dépend d'une multitude de facteurs tels que les économies d'échelle (inhérente à la conception du lanceur et/ou ses procédés de développement et/ou à sa fréquence d'utilisation), la disponibilité des ressources humaines compétentes et leurs capacités d'apprentissage etc. Cependant, réaliser des économies afin de réduire les coûts est peu probable sans un niveau de demande beaucoup plus élevé. Ils notent ainsi, particulièrement dans le domaine des lanceurs réutilisables, que :

« In the space industry this has been referred to as a « chicken and egg problem ». What comes first, ULCATS that enables very large space markets, or the large markets that need ULCATS? This problem has not been solved yet because the required investment to develop commercial RLVs is large and risky. »¹⁰⁸

S'agissant plus spécifiquement des États-Unis, ils ajoutent que seuls un investissement et un engagement gouvernemental pourraient déclencher un cycle « vertueux » conditionnant une réduction des coûts d'un ordre vraiment compétitif.

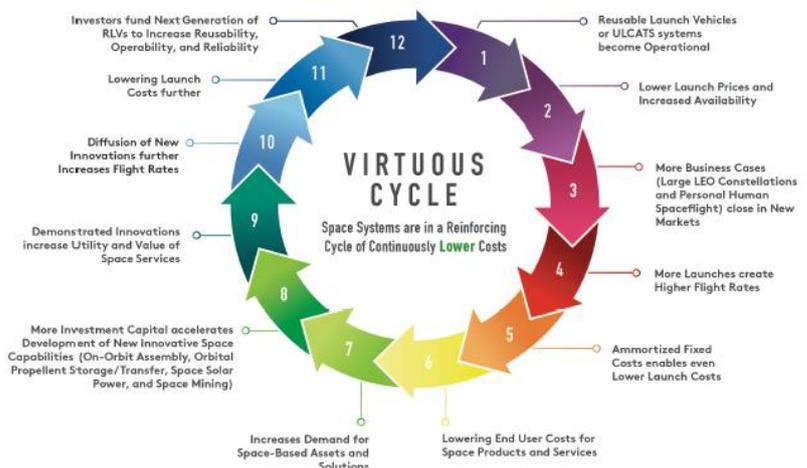


Figure n° 50 : CYCLE VERTUEUX DE RENFORCEMENT DE LA CROISSANCE DES MARCHÉS, DE L'INNOVATION ET DES INVESTISSEMENTS

¹⁰⁶ Young M., Mossman J., « An overview of advanced concepts for launch », 2012 Wright-Patterson AFB: Air Force Research Laboratory. <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a567658.pdf>

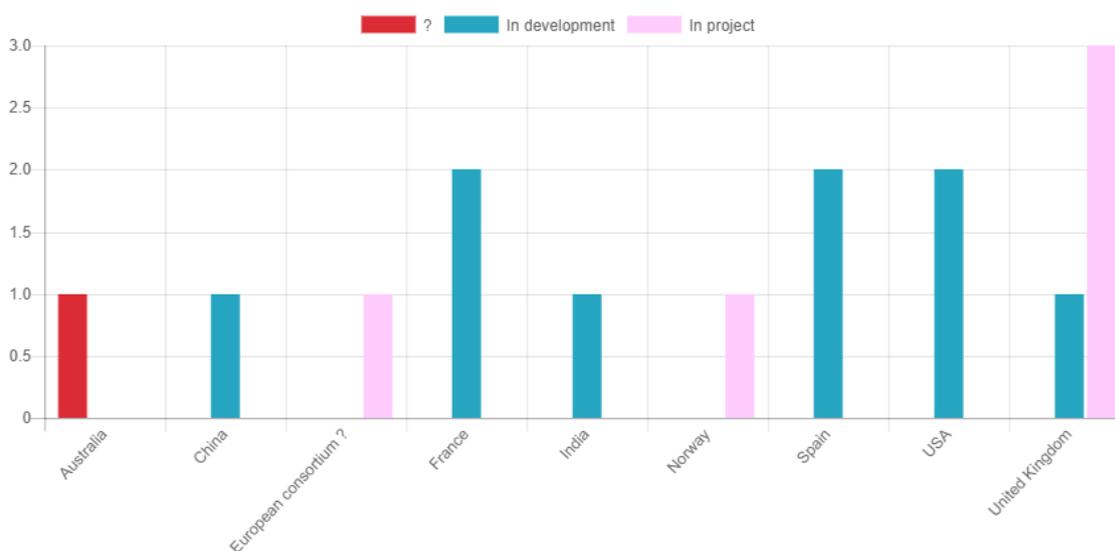
¹⁰⁷ *Fast Space: Leveraging Ultra-Low Cost Space Access for 21st Century Challenges*, Maxwell Air Force Base, AL: Air University, 2017 – [www.airuniversity.af.mil/Portals/10/Research/documents/Space/Fast %20Space_Public_2017.pdf?ver=2017-03-10-113507-743](http://www.airuniversity.af.mil/Portals/10/Research/documents/Space/Fast%20Space_Public_2017.pdf?ver=2017-03-10-113507-743)

¹⁰⁸ P. 11 *Fast Space*.

S'ils s'intéressent particulièrement aux lanceurs réutilisables, c'est en partie en raison du succès technologique de Space-X, mais aussi parce que, selon eux, c'est probablement la technologie la plus prometteuse dans l'objectif de réduire les coûts. Cependant, cela n'infirme pas les conclusions de l'étude de Young et Mossman. En effet, la demande actuelle sur le marché ne justifierait pas un investissement privé jugé à haut risque. Space-X a investi plus d'un milliard de dollars en recherche et développement sur la première étape du Falcon 9 réutilisable¹⁰⁹. À ce sujet, les autorités européennes et les représentants de l'industrie estimeraient qu'il faudrait des taux de lancement de 30 à 40 par an pour assurer le retour sur investissement et la rentabilité économique d'un lanceur réutilisable¹¹⁰.

Aujourd'hui, la base constituée pour l'étude nous montre que parmi les petits lanceurs, aucun lanceur opérationnel n'est réutilisable. Parmi les 97 lanceurs en développement ou en projet, seuls 15 ont opté pour une technologie de réutilisation, essentiellement sur du 1^{er} étage. Seul le projet *Devon Two*, du Royaume Uni, considère un lanceur complètement réutilisable.

Figure n° 51 : LANCEURS AVEC COMPOSANTS RÉUTILISABLES PAR STATUT



Or, les analyses tendent à accréditer l'idée que seul un lanceur complètement réutilisable pourrait être réellement rentable à condition que les délais de remise en service se réduisent également de manière drastique. Aujourd'hui Falcon 9 demande des semaines pour évaluer, remettre en service et tester le premier étage qui doit être réutilisé.

¹⁰⁹ Philip Stockdale, Scott Aughenbaugh, and Nickolas Boensch, « Low-Cost Access to Space: Military Opportunities and Challenges », *Defense Horizons* n°83, National Defense University, Février 2018, 16 p, pp. 3-4

¹¹⁰ Peter B. de Selding, « SpaceX's Reusability Effort Faces One More Big Challenge, » Space Intel Report, March 31, 2017. www.spaceintelreport.com/spacexs-reusability-effort-faces-one-more-big-challenge

Enfin, il nous faut remarquer que les prix pour co-lancement en tant que charge utile secondaire sur les lanceurs lourds et moyens tendent à baisser ces toutes dernières années¹¹¹. Les opérateurs de lanceurs lourds et moyens veulent s'adapter à la demande et s'ils ne peuvent s'affranchir des contraintes de date de lancement et d'orbite initiale visée, ils développent des solutions techniques d'intégration et d'emport spécifique aux plus petits satellites¹¹². Ils deviennent à ce titre des concurrents directs des petits lanceurs sur le marché des petits satellites.

B.– La complexité du développement d'un lanceur

Le marché du lancement est encore largement dominé par des entreprises établies depuis longtemps et par les organisations gouvernementales/publiques qui ont les infrastructures appropriées, le capital, l'expérience, le savoir-faire et des procédures bien rôdées. La plupart des petits lanceurs en projet ou en développement sont issus d'entreprises nouvelles dans le secteur, sans expérience antérieure dans l'industrie spatiale. Par ailleurs, les ressources humaines nécessaires à ce type de développement de technologies ne semblent pas en nombre suffisant pour être en adéquation avec le nombre de lanceurs en projet et en développement...

De ce fait, les dates annoncées de premiers tirs opérationnels, quand nous les connaissons, semblent de nouveau peu réalistes.

Au final, jusqu'à aujourd'hui, il ne semble pas que la pratique ait confirmé une baisse drastique des coûts de lancements des petits satellites par un petit lanceur. La taille d'un lanceur et ses coûts associés ne diminuent pas de façon corollaire car il y a toujours un coût minimum incompressible de développement, de lancement et de sauvegarde¹¹³. En définitive, si les petits lanceurs (de 100 à 250 kg) peuvent être pertinents pour un client prêt à payer plus cher pour un lancement à la demande rapide, typiquement pour des missions gouvernementales de sécurité, militaire ou de réapprovisionnement, ce ne sera pas forcément le cas d'un client civil ou commercial. Le juste équilibre semblerait être le lanceur médium ayant une capacité aux environs des 1 500 kg qui pourrait agréger des charges utiles avec des orbites similaires et un calendrier semblable¹¹⁴.

¹¹¹ Voir à ce sujet Bhavya Lal and al., *Global Trends in Small Satellites*, IDA paper P-8638, Juillet 2017, p. 4-11, <https://www.ida.org/idamedia/Corporate/Files/Publications/STPIPubs/2017/P-8638.pdf>

¹¹² Voir à ce sujet *State of the Art of Small Spacecraft Technology Report*, NASA, 2017 – <https://sst-soa.arc.nasa.gov/10-integration-launch-and-deployment>

¹¹³ Sauf cas très spécifique des petits lanceurs issus d'une filière de fusée-sonde avec rajout d'un étage ou bénéficiant d'une adaptation légère pour lesquels les coûts de maintenance ou d'infrastructure sont très bas.

¹¹⁴ Voir à ce sujet Sweeting, p. 358.

3.2 – Risques et opportunités pour la France et l'Europe

3.2.1 – Place de l'Europe et de la France dans la comparaison internationale

Deux cartes ont été réalisées pour situer le cas européen et plus précisément le cas français dans le contexte international. Le premier planisphère reprend le total des petits satellites lancés par nationalité des opérateurs et le second planisphère indique le nombre de satellites lancés par États, indépendamment de leur nationalité en précisant le rôle spécifique des petits lanceurs.

La figure n° 52 permet de retrouver l'exceptionnalité des États-Unis et l'influence de leur modèle sur l'Europe et le Japon, du fait de la part importante des opérateurs de petits satellites, un point qui confirme les travaux existants sur les différents modèles à l'œuvre dans les modes d'utilisations de l'espace¹¹⁵.

On peut aussi noter la similitude apparente dans le nombre de petits satellites appartenant à des opérateurs russes et chinois, essentiellement étatiques, les deux ayant des programmes de nanosats des universités mais aussi des satellites militaires, dans la continuité de programmes hérités de l'Union soviétique côté russe, alors qu'il s'agit de nouveaux systèmes pour la Chine.

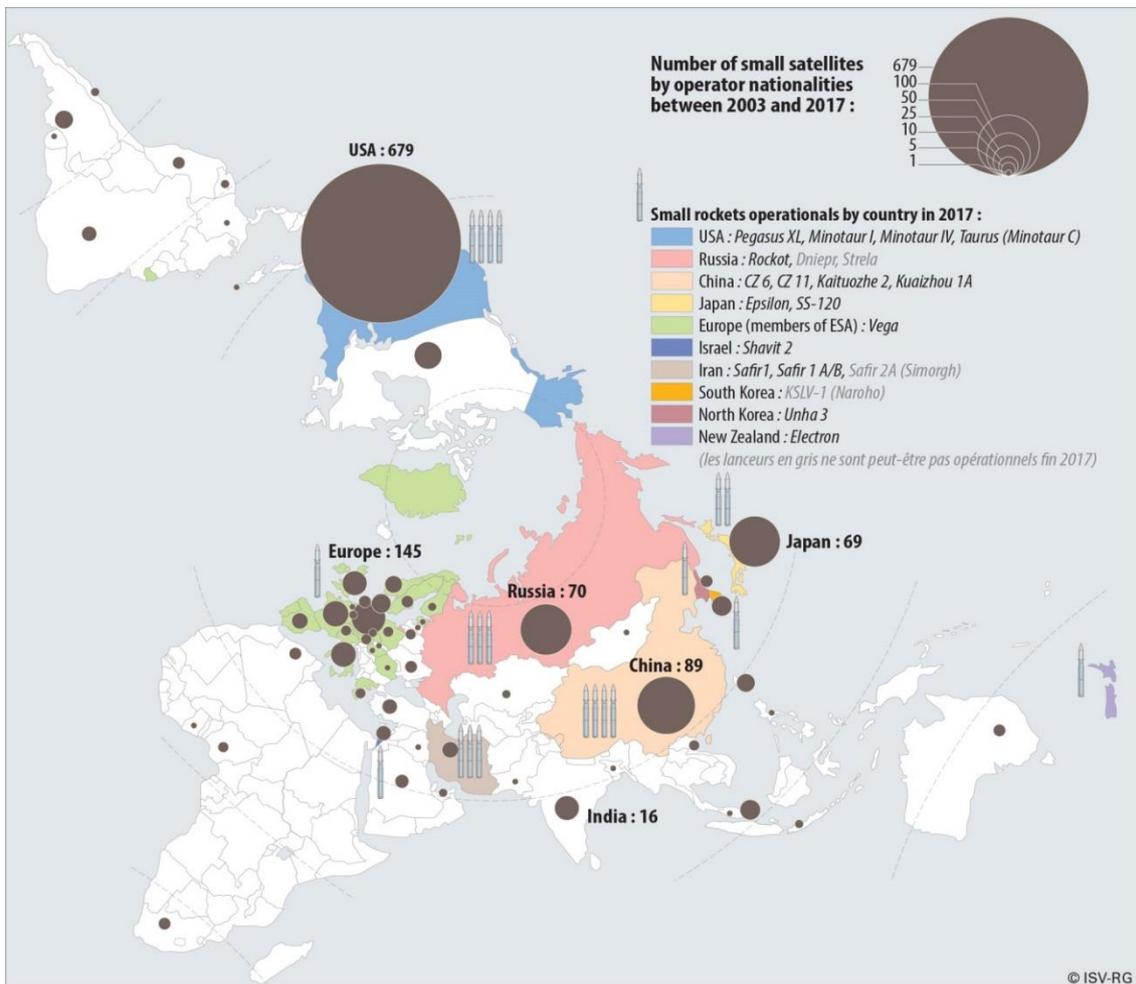
La figure n° 53 donne à voir une autre facette nettement plus complexe. Elle représente le nombre de petits satellites lancés par chaque État de janvier 2003 à janvier 2018, toutes nationalités confondues, et précise la part tenue par les petits lanceurs que la mise sur orbite ait été réussie ou que le tir ait été un échec.

On retrouve, bien sûr, le cas particulier déjà abordé de l'usage de petits lanceurs nationaux correspondant à la 1^{ère} étape d'une filière nationale pour de petits satellites, également nationaux, adaptés aux capacités disponibles (Iran, Corée du Nord, Corée du Sud, Israël avec des caractéristiques différentes et le Brésil avec un échec). Concernant les petits satellites en tant que catégorie spécifique, on distingue 6 grands points :

- ➔ la part non négligeable de l'ISS dont l'activité de lancement est désormais régulière ;
- ➔ la part relativement effacée des États-Unis, dont seulement un peu plus du tiers de petits satellites ont été lancés par des lanceurs américains, avec une part limitée assurée par les petits lanceurs ;

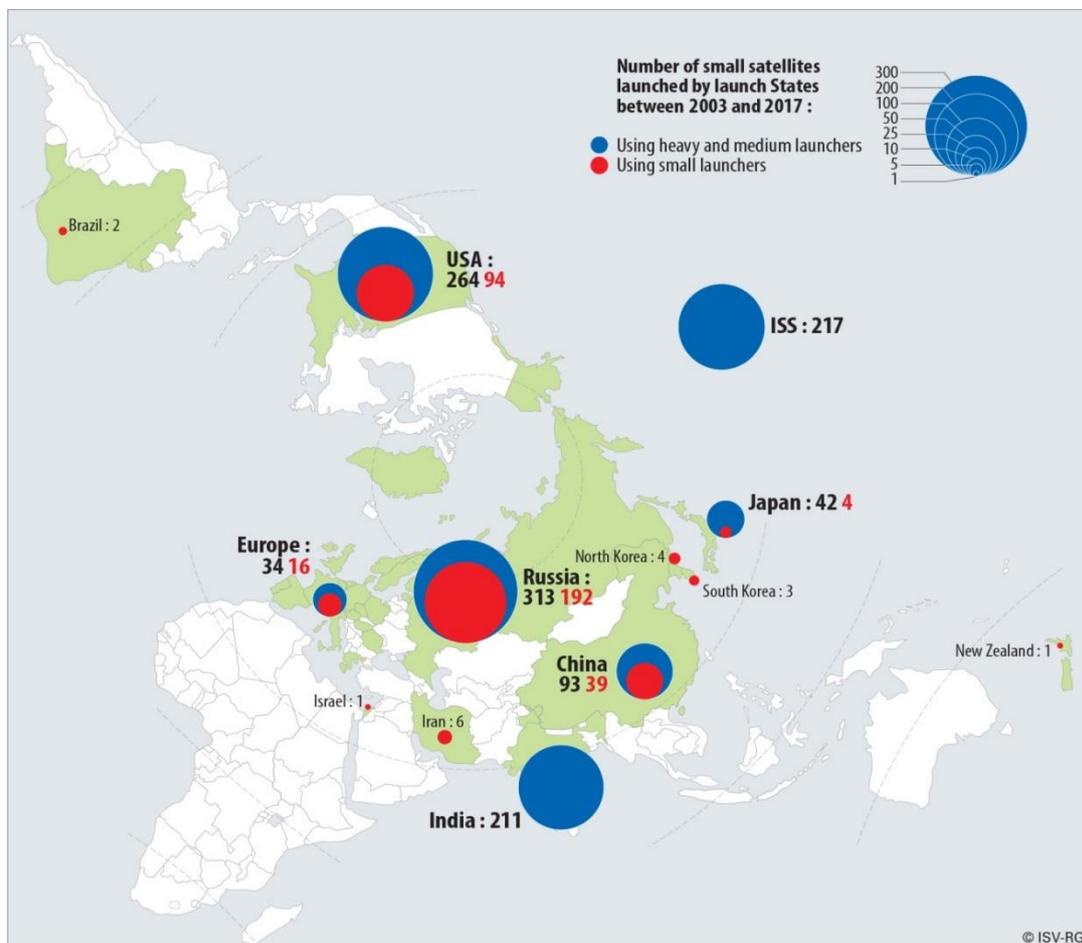
¹¹⁵ I. Sourbès-Verger, « Les puissances de l'espace », *carnets de science* 2, Printemps/été 2016.

Figure n° 52 : NOMBRE DE PETITS SATELLITES LANCÉS PAR NATIONALITÉ DES OPÉRATEURS DE JANVIER 2003 À JANVIER 2018



- ➔ un phénomène de dissociation entre présence majeure dans le champ des petits satellites et effacement relatif dans le domaine des lancements qui se retrouve dans les cas européen et japonais s’inscrivant dans le cadre du modèle américain même si c’est *a minima* ;
- ➔ le maintien du rôle des lanceurs russes y compris pour de petits satellites, en notant toutefois que cette part est d’abord historique en tant qu’héritage des missiles reconvertis ;
- ➔ le cas particulier de l’Inde qui assure presque 20 % des lancements avec un lanceur dit moyen non dédié ;
- ➔ le fonctionnement en quasi vase clos de la Chine assurant ses propres lancements dont 1/3 avec de petits lanceurs récemment développés.

**Figure n° 53 : NOMBRE DE SATELLITES MIS SUR ORBITE
PAR ÉTAT LANCEUR DE 2003 À 2018**



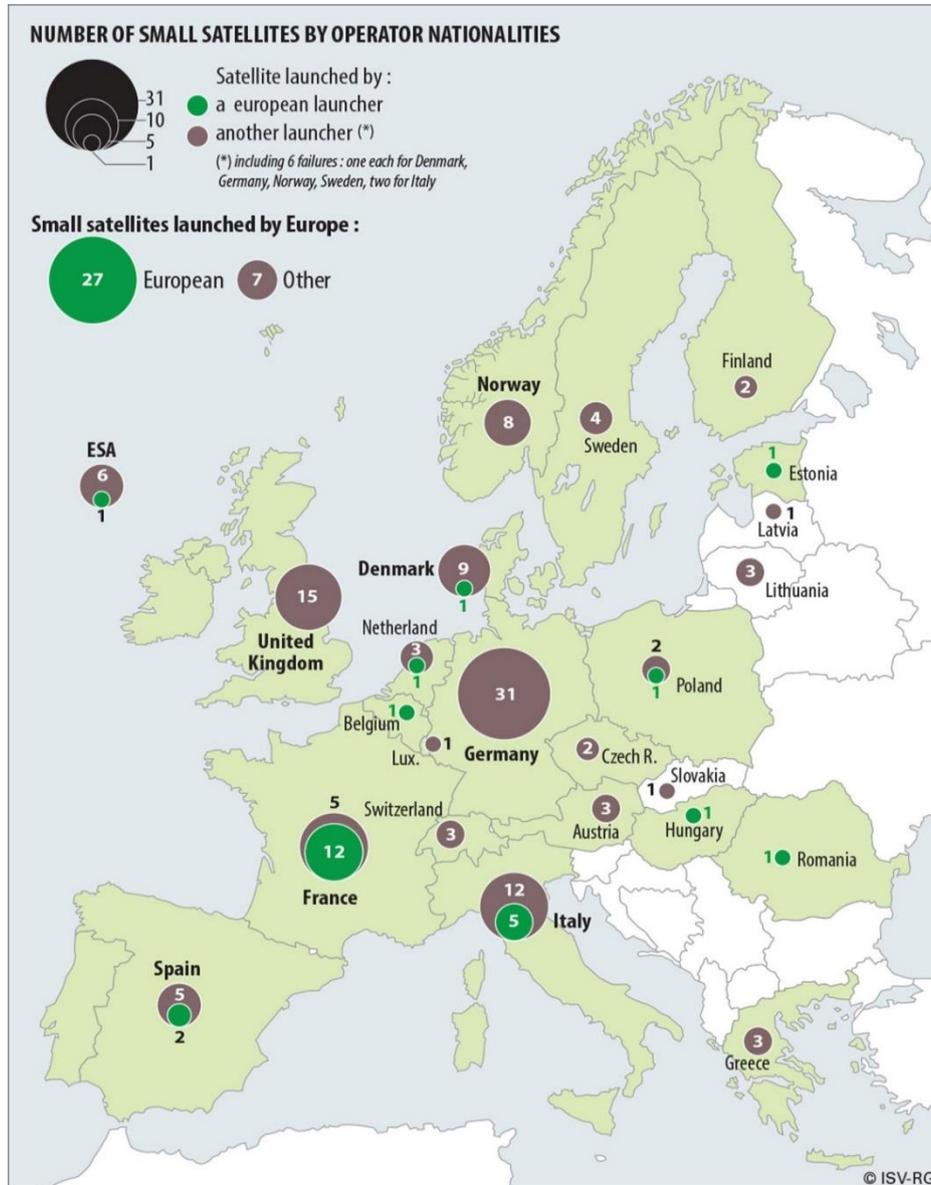
Les deux éléments majeurs à retenir sont donc :

- ➔ la dissociation de l'activité lanceurs par rapport à l'activité satellites, celle-ci n'étant pas mobilisée pour profiter à celle-là ;
- ➔ le rôle inédit de lancements effectués en orbite concernant uniquement les nanosats, l'ISS pouvant être vue comme une réserve éventuelle pour des renouvellements à la demande.

3.2.2 – Focus sur l'Europe

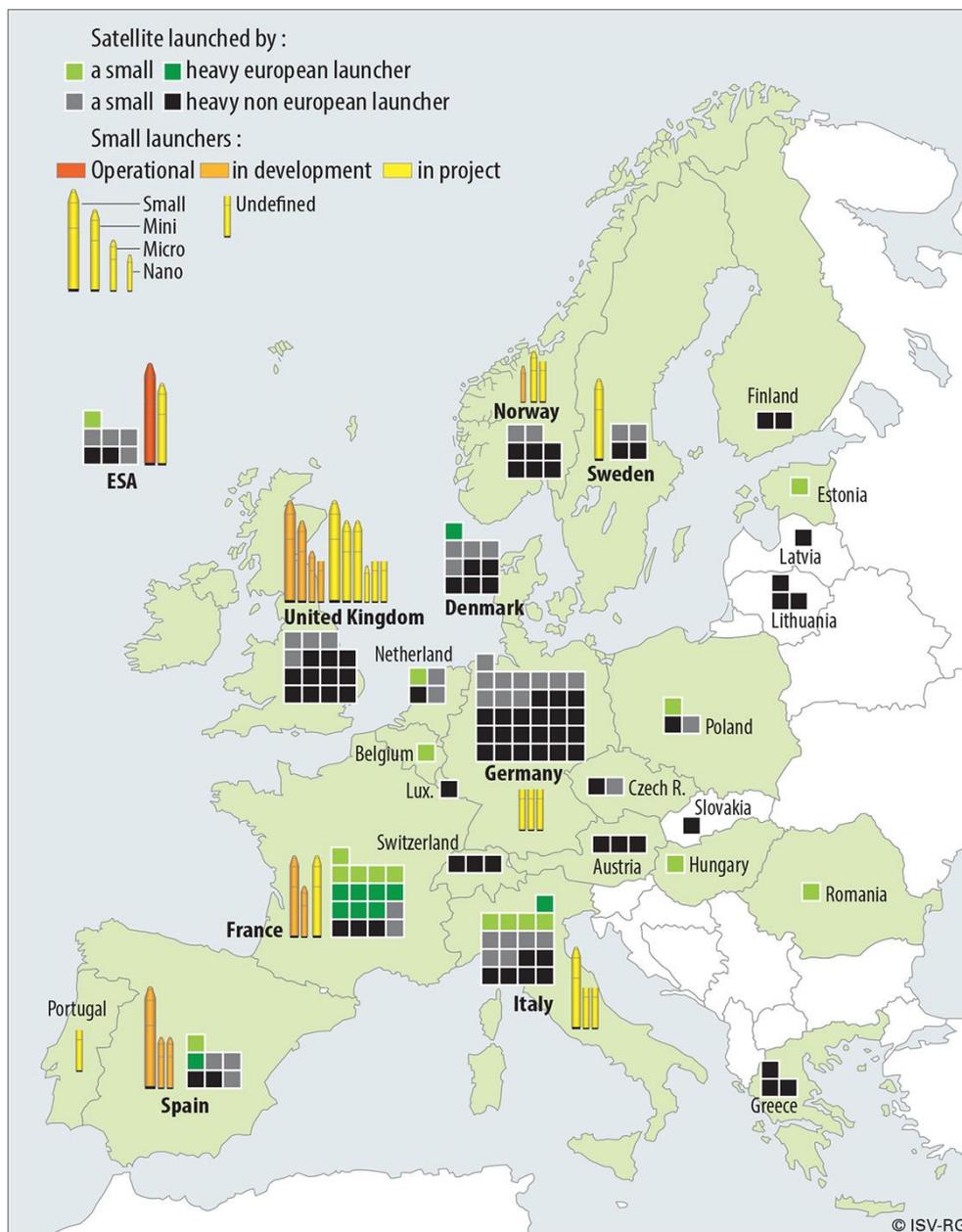
Si l'on fait un focus sur l'Europe, on constate ci-dessous (figure 54) que de janvier 2003 à janvier 2018, l'Europe a lancé avec ses propres lanceurs un total de 28 de ses petits satellites témoignant de politiques nationales très différentes puisqu'à nombre de petits satellites égaux, l'Allemagne n'utilise aucun lanceur européen à la différence de la France. Il est toutefois difficile de tirer des conclusions catégoriques dans la mesure où ce sont le plus souvent des raisons d'opportunité qui déterminent les choix de lanceurs ainsi que cela a été déjà montré.

Figure n° 54 : NOMBRE DE PETITS SATELLITES EUROPÉENS LANCÉS DE 2003 À 2018 PAR NATIONALITÉS DES OPÉRATEURS



La figure suivante, n°55, reprend les données précédentes en les précisant et en les mettant en regard des projets de petits lanceurs portés par les différents États européens (voir fiche Europe en annexe pour plus de détails). Si l'on considère plus précisément les programmes en développement, même si leur état d'avancement est inégal, il ressort clairement que ce n'est pas la situation actuelle en termes de petits satellites nationaux qui en est à l'origine. Plusieurs logiques sont en effet à l'œuvre allant de la valorisation d'infrastructures existantes (Norvège, Suède) ou potentiellement disponibles (Portugal, Espagne) dans un souci de maximiser les éventuels investissements européens soutenus par l'ESA ou par l'UE. Seul le Royaume Uni affiche une logique de soutien aux initiatives privées dans l'inspiration du modèle américain et du succès historique de la société SSTL (*Surrey Satellite Technology Ltd*).

Figure n° 55 : PETITS SATELLITES EUROPÉENS LANCÉS PAR TYPE DE LANCEURS EUROPÉENS OU AUTRES



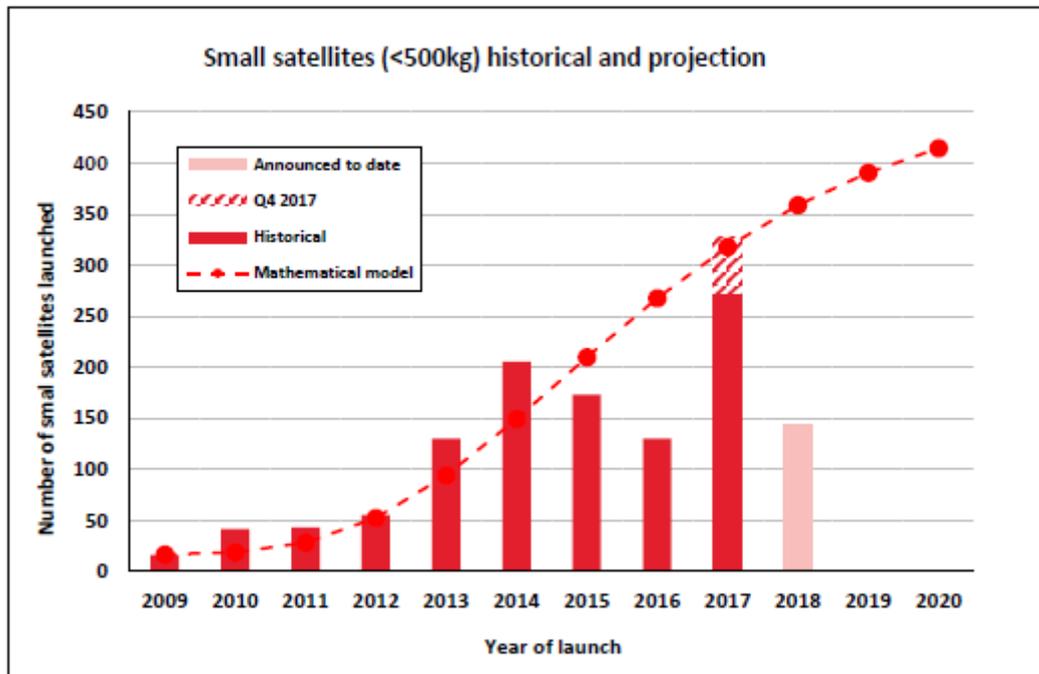
3.2.3 – Perspectives

Les différents rapports traitant des petits satellites et du marché qu'ils représentent présentent des projections très comparables, tenant sans doute à la compilation de sources très proches, sinon identiques. Les bulletins trimestriels de l'organisation britannique Catapult proposaient, dans leur parution de décembre 2017¹¹⁶, le graphique ci-dessous

¹¹⁶ Catapult, *Small Satellite Market Intelligence*, Q4 2017, <https://media.sa.catapult.org.uk/wp-content/uploads/2017/07/01123441/Market-Intelligence-Quarterly-Report-Q4-2017.pdf?pdf=Q4-17-smallsat>

concernant une gamme plus large que celle retenue pour notre étude (satellites inférieurs à 500 kg et non 250 kg) si bien que les satellites de la constellation Spacelink sont inclus. De façon très instructive, on note seulement 150 satellites correspondant à des annonces fermes alors que le modèle mathématique choisi annonce une croissance continue selon une pente constante supérieure à 45 % depuis 2012 avec un léger fléchissement à partir de 2018. On arriverait ainsi à un total de plus de 400 satellites lancés en 2020.

Figure n° 56 : PETITS SATELLITES LANCÉS ET PROJECTION ENTRE 2009 ET 2020

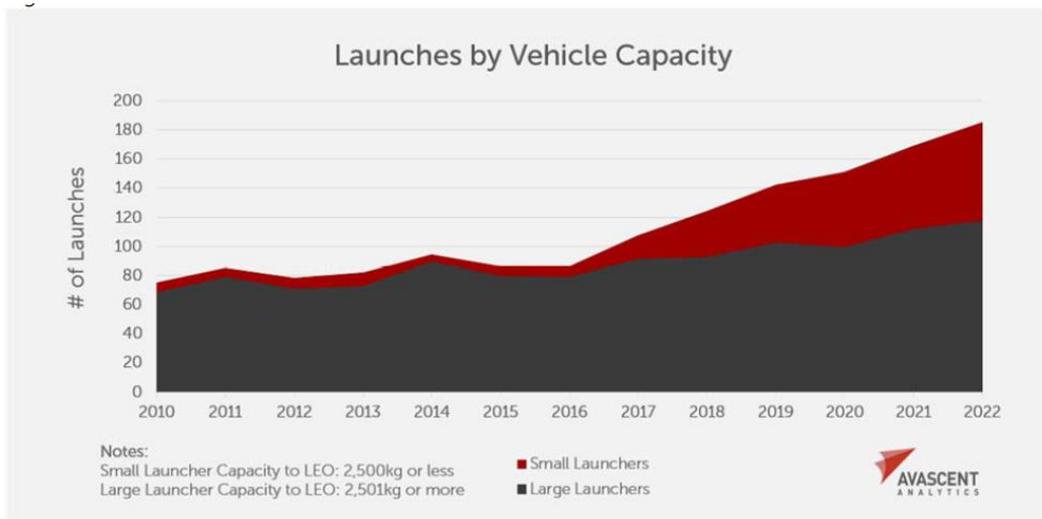


Une autre étude de septembre 2017¹¹⁷ fournit une projection en nombre de tirs de lanceurs classés selon leur capacité. On constate alors que c'est le nombre de tirs de petits lanceurs qui croît le plus nettement passant de 10 tirs annuels jusqu'en 2016 à 60 tirs attendus en 2022, la progression des tirs de lanceurs lourds croissant aussi, mais moins nettement, passant de 80 tirs en 2016 à une centaine en 2020.

Le dernier graphique, extrait de la même étude CSIS, propose une projection par masse des satellites. Il présente un maintien constant du nombre des satellites les plus lourds, une croissance très modérée des petits satellites (inférieurs à 500 kg) et une explosion des constellations commerciales supérieures à 200 petits satellites. Si l'on compare ce graphique à celui que nous avons réalisé (planisphère ci-après, figure 59), il prend en compte les annonces nombreuses confirmées ces toutes dernières années.

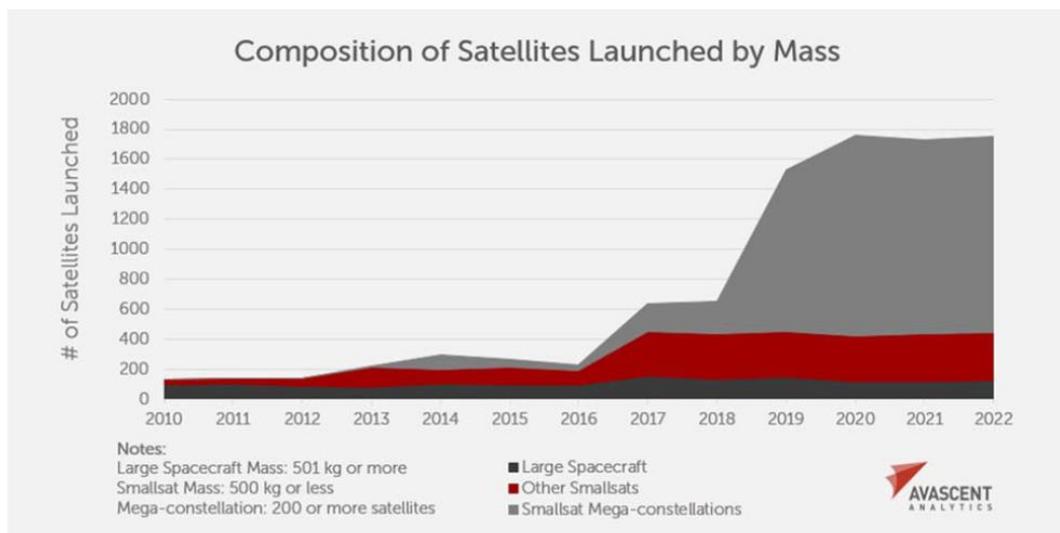
¹¹⁷ D. Querejazu, L. Randazzese, ed. by A. Hunter, K. Johnson, *Small Satellites, Big Missions- the implications of the Growing Small Satellite Market for Launch and Key Applications*, CSIS, Sept 2017 – <https://www.csis.org/analysis/small-satellites-big-missions>

Figure n° 57 : NOMBRE DE LANCEMENTS PAR CAPACITÉS DE LANCEURS 2010-2022



Source: Avascent Analytics.

Figure n° 58 : NOMBRE DE SATELLITES PAR MASSE 2010-2022



Afin de pouvoir mieux cerner les options pour l’Europe, nous avons élaboré le planisphère ci-dessous (figure 59) en reprenant tous les projets de constellations commerciales connus dès lors que les informations disponibles concernaient aussi bien le nombre de satellites prévus que le nom de l’opérateur, sa nationalité, la mention du maître d’œuvre et une date de début de déploiement. L’objectif était ainsi de travailler sur les projets les plus crédibles au moins à l’échéance de 5 ans correspondant au temps de développement annoncé.

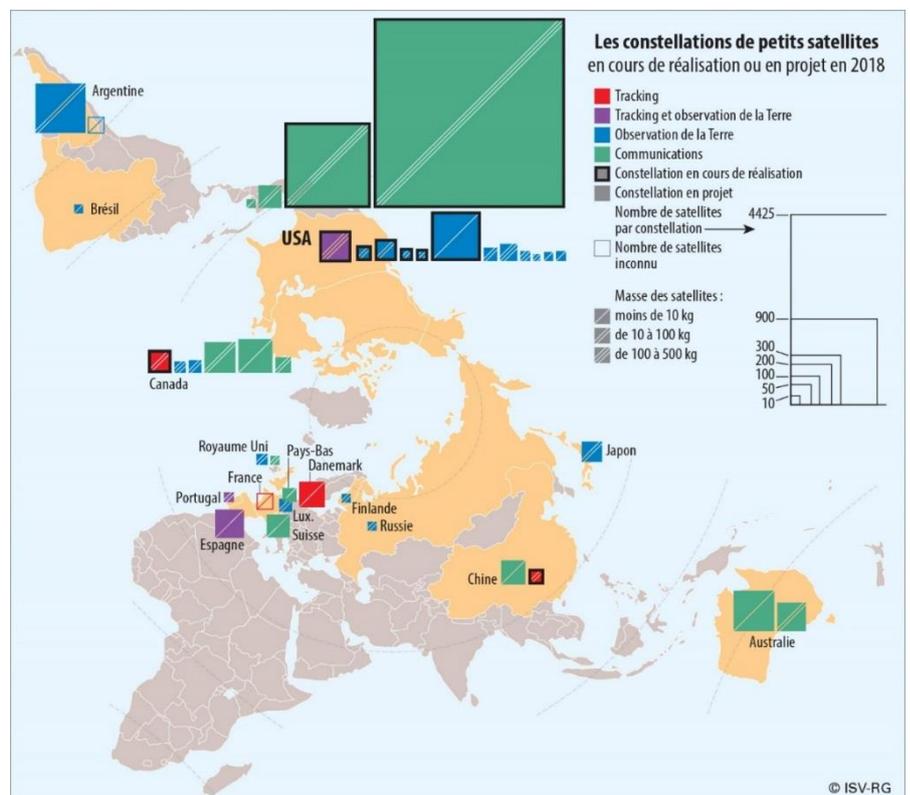
Nous avons également mentionné la masse des satellites et les missions poursuivies en les regroupant en 3 grandes catégories : observation de la Terre, tracking terrestre et maritime et communication.

La rupture attendue dépend donc en l'état des projets américains et, en particulier, des constellations One Web et Spacelink. Elles sont de fait très différentes, la première ayant une réelle dimension internationale, tant de par ses partenaires industriels et financiers que par les différents lanceurs sollicités. En revanche, Starlink représente le cas ultime d'intégration puisque la totalité de la constellation est destinée à être lancée par les lanceurs Space-X. Il s'agit d'un modèle dans lequel les satellites complètent le plan de charge des lanceurs crédibilisant ainsi la baisse de coûts par la multiplication des tirs justifiant elle-même le choix du réutilisable. La question fondamentale reste alors celle de la crédibilité pour le capital-risque investi et le délai de retour des bénéfices sur investissements en fonction de la réalité du marché des utilisateurs visés. De fait, la position désormais incontournable de Space-X comme lanceur gouvernemental représente une garantie non négligeable à la société, tandis que la loi sur les faillites peut même permettre la mise en place d'un nouveau *business model* dans le domaine de la constellation, comme cela avait été le cas pour Iridium.

Autant dire, que le marché disponible pour les Européens ne peut se situer qu'ailleurs. On note en effet que les projets en Europe se situent sur un autre segment de constellations beaucoup moins nombreuses et de masse bien moindre. Il faut enfin noter la discordance entre les projets de constellations britanniques et les projets de petits lanceurs.

Ainsi, les futures constellations de petits satellites ne sont pas synonymes de besoin en petits lanceurs et l'on en revient à la question de l'effet d'entraînement via les petits lanceurs pour de nouveaux projets.

Figure n° 59 : PLANISPHERE DES CONSTELLATIONS DE PETITS LANCEURS EN PROJET EN 2018



3.3 – Scénarios

À l'issue de cet état des lieux global, quels scénarios sont à envisager ? Dans la mesure où les enjeux d'autonomie pour la France et l'Europe représentent une part importante des choix à réaliser, ce sont eux que nous allons prendre en compte en premier.

3.3.1 – Prise en compte d'éléments d'autonomie France/ Europe

S'agissant de réfléchir aux éléments d'autonomie pour la France et l'Europe dans ce contexte de transformation de l'écosystème spatial, deux points nous paraissent cruciaux pour permettre à la France et l'Europe de garder leur positionnement dans le club de tête des puissances spatiales :

- ➔ L'existence d'une capacité de surveillance de la situation spatiale ;
- ➔ Un positionnement informé en matière de petits lanceurs.

A.– Une capacité incontournable : la surveillance de l'espace

Surveiller et apprécier la situation spatiale est fondamental pour garantir et sécuriser le plein usage de l'espace. Au-delà du syndrome de Kessler, dans ce contexte d'évolution de l'écosystème spatial avec la multiplication attendue des objets en orbite, les enjeux de souveraineté et d'autonomie liés aux capacités de surveillance spatiale n'en sont que plus cruciaux. La surveillance de l'espace fait désormais l'objet d'un domaine d'action à part entière et sa signification englobe toutes les menaces et tous les risques, d'origine humaine ou naturelle. Le terme, désormais consacré, de SSA pour *Space Surveillance Awareness* (Suivi de la Situation Spatiale) englobe ainsi 3 fonctions principales : la météo spatiale, la surveillance des objets proches de la Terre (*Near Earth Objects*, astéroïdes géocroiseurs etc.) et la détection, le suivi et l'identification des objets artificiels (débris, satellites, etc.).

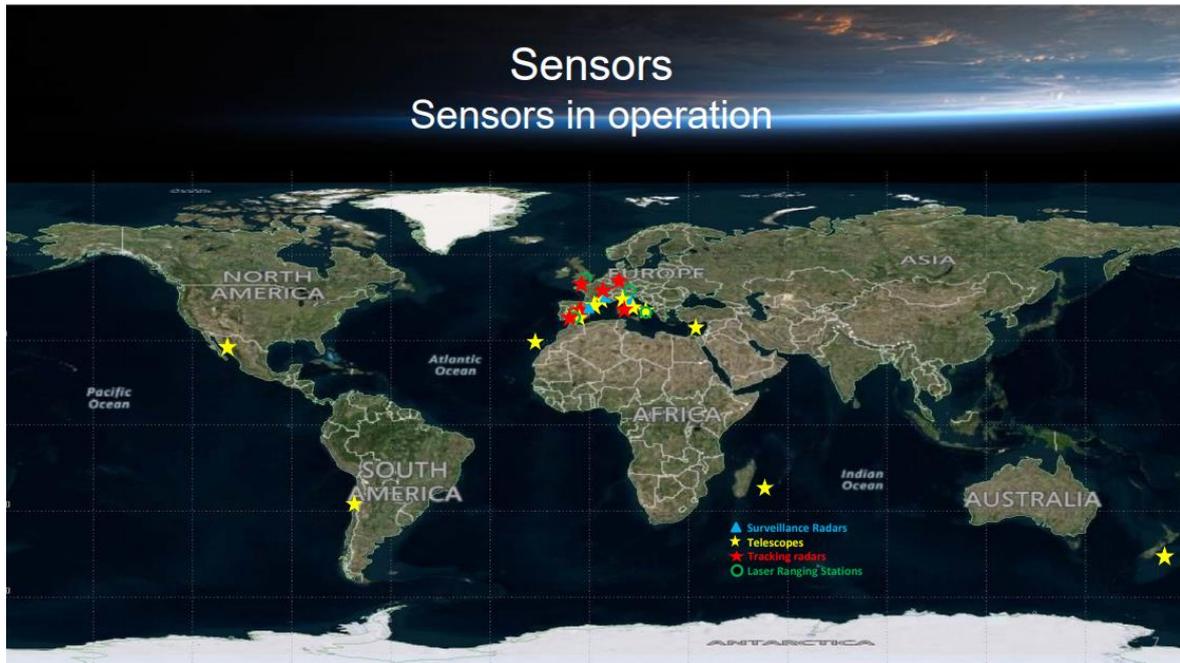
L'Union européenne s'est saisie de cette question en 2014 en adoptant un « Cadre de soutien à la surveillance de l'espace et au suivi des objets en orbite » (EU-SST)¹¹⁸. En 2015, cinq pays – France, Italie, Allemagne, Espagne et Royaume-Uni – ont formé un consortium afin de développer les capacités SST européennes¹¹⁹.

Actuellement le réseau de capteurs mis en commun pour le développement d'EU-SST se combine avec les données issues du JSpOC américain pour offrir un service de SST dans les 3 domaines suivants : l'évitement de collisions, les analyses de réentrées et de fragmentation.

¹¹⁸ Décision du 16 avril 2014.

<http://eur-lex.europa.eu/legalcontent/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX:32014D0541&from=EN>

¹¹⁹ Voir à ce sujet l'étude SEEA, op. cit. note 87.

Figure n° 60 : CAPTEURS DU RÉSEAU SST DE L'UNION EUROPÉENNE¹²⁰

De son côté, l'ESA a lancé un programme de SSA depuis 2008¹²¹ mais peine à lui donner l'élan nécessaire notamment en raison de difficultés de financement. Si deux prototypes de radars de surveillance sont en orbite, ils ne fournissent pour autant pas de réels services opérationnels du fait de leurs spécifications techniques qui limitent la détection et le suivi à des objets de 70 cm jusqu'à 1 200 km d'altitude¹²².

Au niveau national, la France, même si elle dispose du système radar GRAVES, dépend des États-Unis notamment pour la détection des plus petits satellites. Les caractéristiques techniques de GRAVES limitent en effet la détection à des objets entre 400 et 1 000 km d'altitude d'un volume supérieur ou égal à environ 1 m³¹²³. Par ailleurs, si GRAVES détecte, il n'identifie pas, tâche effectuée par le radar allemand TIRA.

¹²⁰ https://www.b2match.eu/system/spaceweek2017-italy/files/6_Portelli.pdf?1511872177

¹²¹ https://download.esa.int/esoc/SSA/esa_ssa_programme_brochure_square_2015_web.pdf

¹²² Voir à ce sujet Olivier Zajec, « Renseignement spatial : « Il faut surveiller notre nouvelle frontière, l'espace » », *L'Opinion*, 8 janvier 2018, <https://www.lopinion.fr/edition/international/renseignement-spatial-il-faut-surveiller-notre-nouvelle-frontiere-l-140437> et l'interview de Nicolas Bobrinsky, responsable du programme de veille spatiale de l'ESA in « Après Tiangong-1, comment mieux surveiller les débris spatiaux ? », *Futura Science*, 9 avril 2018, <https://www.futura-sciences.com/sciences/actualites/astronautique-apres-tiangong-1-mieux-surveiller-debris-spatiaux-45119/>

¹²³ Audition du Général Jean-Pascal Breton, Commandant interarmées de l'espace, 20 décembre 2017, Commission de la défense nationale et des forces armées, <http://www.assemblee-nationale.fr/15/pdf/cr-cdef/17-18/c1718024.pdf> et dossier de la *Federation of American Scientist* sur GRAVES <https://fas.org/spp/military/program/track/graves.pdf>

La décision de moderniser le système français afin d'améliorer ses performances et de prolonger sa durée de vie a été annoncée en décembre 2016 par la DGA¹²⁴. À noter que le financement de cette rénovation bénéficie d'une contribution européenne via le programme EU-SST. Pour la surveillance de l'orbite géostationnaire, le réseau TAROT de télescopes du CNRS est utilisé conjugué au système privé GEOtracker d'ArianeGroup. Ce système, encore en développement, est l'une des rares ressources d'origine industrielle en matière de suivi et de surveillance sur l'arc géostationnaire.

Malgré ces premières briques de système de surveillance et de suivi des objets dans l'espace, la France et l'Europe sont loin de disposer d'une surveillance de la situation spatiale pouvant garantir la sécurité de leur accès à l'espace. À titre d'exemple, l'actualité récente de la rentrée dans l'atmosphère de la station spatiale chinoise Tiangong-1 aurait montré que 50 % des moyens de surveillance et de suivi de la station en perdition ont été fournis par les États-Unis, 40 % par les Russes et 10 % par d'autres nations comme la Chine, l'Europe et le Japon¹²⁵.

Aux États-Unis, la logique de renforcement des capacités SSA s'appuie notamment sur une intégration de plus en plus poussée des acteurs privés avec la passation en 2016 par l'US Air Force d'un contrat avec la société Applied Defense Solutions Inc. dont la mission est de jouer le rôle d'un agrégateur des sources civiles et privées en matière de SSA. ADS a pour mission d'injecter des données provenant de sources privées au sein du *National Defense Space Center* (ex JICSpOC)¹²⁶.

Même si l'objectif n'est pas forcément de se doter d'un réseau aussi performant que celui des États-Unis, voire de la Russie, rappelons que la « Revue stratégique de défense et de sécurité nationale » d'octobre 2017 identifiait que :

*« Dans l'espace, les mutations en cours engendrent d'ores et déjà une densification du trafic (notamment avec les constellations de petits satellites) et un risque croissant de collision avec des débris, rendant nécessaire la maîtrise de la surveillance de l'espace et la résilience de nos capacités spatiales »*¹²⁷.

¹²⁴ Communiqué de presse de l'ONERA, 12 décembre 2016, https://www.onera.fr/sites/default/files/communiqu%C3%A9_de_presse/files/20161212-CP-Graves-ONERA.pdf

« Surveillance spatiale : la France reste dans la cour des États-Unis et de la Russie », *La Tribune*, 12 décembre 2016 <https://www.latribune.fr/entreprises-finance/industrie/aeronautique-defense/surveillance-spatiale-la-france-reste-dans-la-cour-des-etats-unis-et-de-la-russie-616389.html>

¹²⁵ « Après Tiangong-1, comment mieux surveiller les débris spatiaux ? », *Futura Science*, 9 avril 2018, <https://www.futura-sciences.com/sciences/actualites/astronautique-apres-tiangong-1-mieux-surveiller-debris-spatiaux-45119/>

¹²⁶ « Air Force picks ADS to demo an all-commercial alternative to Space-Track catalog », *Space News*, 4 novembre 2016 <http://spacenews.com/air-force-picks-ads-to-demo-an-all-commercial-alternative-to-space-track-catalog/>

¹²⁷ *Revue Stratégique et Défense et de Sécurité Nationale*, p. 34.

Un niveau minimal d'autonomie et de souveraineté se doit d'être atteint, notamment par une meilleure articulation des capacités existantes en Europe. Le tableau ci-dessous reprend le panorama des différentes capacités existantes en Europe pouvant contribuer à un système de surveillance européen.

Tableau n° 11 : TABLEAUX DES PRINCIPAUX CAPTEURS NATIONAUX RÉPONDANT À DES MISSIONS DE SSA / SST¹²⁸

FRANCE	ACTEUR ET LIEU	MISSION PRINCIPALE	MISSION SECONDAIRE	CARACTERISTIQUE PRINCIPALE
GRAVES Grand Réseau adapté à la Veille Spatiale	CDAOA Dijon et Apt	Veille spatiale – création et entretien de catalogue ¹²⁹	Observation météorites	Radar Veille et 1 ^{ère} caractérisation
SATAM (3) (en fonction?¹³⁰)	Armée de l'Air Suippes, Captieux, Solenzara	Défense aérienne	Contribution SSA – trajectographie ponctuelle des satellites en LEO	Complémentaire à GRAVES, trajectographie plus précise, LEO
5 radars – Monge	DGA Navire MONGE	Recueillir paramètres des tirs de missiles en vol	Trajectographie des étages d'Ariane Contribution SSA – suivi ponctuel	Très bonne précision éléments orbitaux – LEO
OSCEGEANE projet expérimental	Observatoire Côte d'Azur	Déterminer la signature spectrale des satellites en GEO	Trajectographie	Optique caractérisation et précision de trajectoire des objets en GEO (création d'un catalogue de signatures ?)
TAROT Télescope à Action Rapide pour les Objets Transitoires	CNES-CNRS France (plateau de Calerne) et Chili (La Silla)	Observation optique de phénomènes transitoires détectés par satellite (détection des sursauts des rayons gamma)	Observation débris (quelle taille ?) – détection et suivi objets GEO	Optique ¹³¹ Diamètre du miroir faible ➔ précision de l'image ?

¹²⁸ Elaboré dans le cadre de l'étude SEEA, ce tableau a été préparé avec le soutien d'un expert radariste de l'Onera. Ce tableau n'a pas vocation à être exhaustif, ni à déterminer précisément si les capteurs seront effectivement utilisés ou pas dans le cadre des services SST de l'UE.

¹²⁹ ~2 000 Objets > 1 mq SER en LEO.

¹³⁰ « Un radar militaire mis à l'arrêt par principe de précaution », *Le Parisien*, 30 septembre 2011.
http://www.leparisien.fr/reims-51100/un-radar-militaire-mis-a-l-arret-par-principe-de-precaution-30-09-2011-1633344.php#xtref=http%3A%2F%2Fwww.google.fr%2Furl%3Fsa%3Dt%24rc%3Dj%24%3D%24esrc%3Ds%24sourc%3Dweb%24cd%3D2%24ved%3DOCCqQFjAB%24url%3Dhttp%253A%252F%252Fwww.leparisien.fr%252Freims-51100%252Fun-radar-militaire-mis-a-l-arret-par-principe-de-precaution-30-09-2011-1633344.php%24ei%3DzRdWVe-VDMm7Ue_ZgMAP%24usq%3DAFQjCNEvrg4b77Rsyh-DOo289PofS01SQrw%24bvm%3Dbv.93564037%2Cd.d24

¹³¹ Deux télescopes identiques de 25 cm de diamètre, couvrant un champ de vision de 1.86°x1.86°. Le pointage vers n'importe quel point du ciel est réalisé en moins de 5 secondes. Site web officiel.

UK	ACTEUR ET LIEU	MISSION PRINCIPALE	MISSION SECONDAIRE	CARACTER. PRINCIPALES
BMEWS (ballistic missile early warning system)	Royal Air Force (RAF) Air Base, Fylingdales, (propriété américaine)	Défense Anti-missile	Contribution SSA ?	Radar partie du réseau SSN surveillance /veille orientée
CAMRa (Advanced Meteorological Radar)	Chilbolton Observatory – Science and Techno facilities Council - and Rutherford Appleton Laboratory	Météorologie et propagation radio	Contribution SSA?	Radar Suivi et caractérisation d'objets en LEO
Starbrook	BN Space Center Space Insight Limited – Chypre	Surveillance spatiale	Contribution SSA ?	Senseur optique - catalogue objets à 40 000 km (GEO).
ALLEMAGNE	ACTEUR ET LIEU	MISSION PRINCIPALE	MISSION SECONDAIRE	CARACTER. PRINCIPALES
TIRA (Tracking and imaging radar)	Fraunhofer Institut Près de Bonn	trajectographie images et caractérisation objets LEO		Fonction trajectographie et caractérisation – nécessite input d'un catalogue
ITALIE	ACTEUR ET LIEU	MISSION PRINCIPALE	MISSION SECONDAIRE	CARACTER. PRINCIPALES
Croce del Nord	ASI-INAF Stazione Radioastronomica di Medicina e Noto	Observation débris et géo croiseurs	Contribution SSA ?	Radar de suivi Précision trajectoires débris
Système radar multistatique	INAF – ASI Bologna, Noto	Détection débris – non adapté à la veille	Contribution SSA ?	Radars utilisés en système et en coopération avec pays tiers (Ukraine, US...)
ESPAGNE	ACTEUR ET LIEU	MISSION PRINCIPALE	MISSION SECONDAIRE	CARACTER. PRINCIPALES
TFRM « Telescope Fabra-ROA at Montsec »	Montsec Astronomical Observatory in Catalonia -	Observation débris et géo croiseurs		Optique Précision trajectoires débris
La Sagra Sky Survey telescope ¹³²	Observatorio Astronomico de Mallorca	Découverte et suivi de débris et géo croiseurs en LEO, MEO et GEO ¹³³	Contribution SSA?	Optique Toutes orbites
NORVEGE	ACTEUR ET LIEU	MISSION PRINCIPALE	MISSION SECONDAIRE	CARACTER. PRINCIPALES
GLOBUS II	Appartenait aux USA pour détecter ICTBMs. Partie du réseau SSN Vardo - Service Reins. Norv.	Observation, suivi et caractérisation des objets (catalogue)	(fonction ABM?)	Radar : trajectographie, image. Position précise, adapté aux orbites polaires

¹³² 0.45 m de diamètre, site officiel.

¹³³ http://www.lasagraskysurvey.es/space_debris.html

SUEDE/NORVEGE/ FINLANDE	ACTEUR ET LIEU	MISSION PRINCIPALE	MISSION SECONDAIRE	CARACTER. PRINCIPALES
EISCAT radar	EISCAT ¹³⁴ : association multinationale Réseau European Incoherent Scatter Radars Tromso, Svalbard, Kiruna	Recherche scientifique (électrons, ions)	SSA – observation objets et débris en LEO	Radar : adapté aux orbites polaires
SUISSE	ACTEUR ET LIEU	MISSION PRINCIPALE	MISSION SECONDAIRE	CARACTER. PRINCIPALES
ZIMLAT	Télescope Astrométrique ZIMLAT ¹³⁵ Université de Bern	Télemetry laser, trajectographie	observation géo croiseurs, débris (taille ?)	Bonne précision de trajectographie et d'imagerie
ZIM SMART	Zimmerwald Small Aperture Robotic Telescope ¹³⁶ ZIM SMART	Développer un catalogue d'éléments orbitaux en GEO, GTO et MEO		Identification petits objets (en GEO et GTO aussi)

En outre, la montée en puissance du système national français est de plus en plus un enjeu de très court terme. La Ministre de la Défense l'a appelée de ses vœux dans son discours du 14 décembre 2017 lors de la visite de l'usine des Mureaux d'ArianeGroup, insistant sur les changements de l'écosystème spatial, notamment en raison des programmes de méga-constellations, mais aussi sur la possibilité de menaces intentionnelles en raison du nombre grandissant d'acteurs dans l'espace :

« Nous devons nous doter de notre propre cartographie complète, pour identifier tous les objets en orbite et les détecter en amont afin de dissuader d'éventuels agresseurs... Maîtriser l'espace exo-atmosphérique, c'est maîtriser les menaces environnementales comme la prolifération des débris et les menaces intentionnelles comme les actions d'espionnage ou de sabotages aux conséquences parfois dramatiques pour nos forces en opérations ou nos concitoyens dans leur quotidien... »¹³⁷.

¹³⁴ European Incoherent Scatter Scientific Association – <https://www.eiscat.se/about>.

¹³⁵ 1 m diamètre. Site web université de Berne, Institut d'Astronomie – http://www.aiub.unibe.ch/content/zimmerwald/the_zimlat_telescope/index_eng.html. L'Université de Berne résume ainsi ses performances : haute précision de suivi d'objets en GEO (satellites et débris), objets qui bougent lentement (par exemple, planètes mineures), objets qui bougent rapidement (satellites en LEO) ; haute résolution d'imagerie.

¹³⁶ Champ de vision (FOV) of 4° 6' x 4° 6' and 2° x 2°. « Space Debris Observations with ZimSMART », European Space Surveillance Conference, 7-9 June 2011, Johannes Herzog, Thomas Schildknecht, Martin Ploner. Le télescope Zimsmart a servi à créer et maintenir un catalogue de petits débris en GEO, GTO et MEO. Ce travail a été fait en coopération avec l'ESA et avec le soutien du télescope Zimlat et l'académie de sciences russe (KIAM). Jusqu'en Décembre 2009, par exemple, ce télescope a permis d'identifier de nombreux petits objets (entre 1 m et 1 dm de taille) non présents dans le catalogue USSTRATCOM. « European efforts to survey, track, and characterize small-size objects at high altitudes » T. Schildknecht, A. Vananti, T. Flohrer, H. Klinkrad. [aero.tamu.edu/sites/.../S6.1 %20Schildknecht.pdf](http://aero.tamu.edu/sites/.../S6.1%20Schildknecht.pdf), la date de ce papier n'est pas précisée.

¹³⁷ <http://discours.vie-publique.fr/notices/173002472.html>

Ce faisant, il est intéressant de remarquer que dans son discours elle implique directement le secteur privé et lance un appel à l'Allemagne pour une coopération renforcée reprenant la proposition du Président de la République, Emmanuel Macron, lors du sommet franco-allemand du 13 juillet, visant, dans un premier temps, à adopter une capacité commune de partage de la situation¹³⁸.

Cet axe franco-allemand en matière de surveillance spatiale est vu comme une des pierres angulaires afin de soutenir une démarche européenne qui s'inscrirait notamment dans le cadre du Fonds Européen de Défense :

« Pour relever ce défi, le fonds européen de défense et tous ses instruments seront précieux. Ils permettront d'assurer des investissements, leur cohérence, leur efficacité. Ils donneront une voix à l'Europe dans la régulation du futur des activités spatiales. Ce fonds, c'est une opportunité rare, celle de donner à l'Europe plus encore et pleinement sa place dans le concert des puissances spatiales ».

Force est de constater que depuis nos conclusions dans l'étude « Sécuriser l'Espace Extra-Atmosphérique (SSEA) » en février 2016, peu de choses ont réellement évolué dans ce domaine. À ce titre, nous pouvons reprendre en partie les recommandations émises lors de ce travail. La France doit procéder à une mise à plat de ses besoins et dépendances et définir le niveau minimal de souveraineté et d'autonomie qu'elle se doit de garantir dans l'espace. Pour ce faire, un espace de dialogue inter-acteurs sur la sécurité spatiale – passant par une analyse des composantes clés de cette sécurité et des choix des axes forts – s'avère pertinent dans la mesure où toute architecture de surveillance de l'espace nécessite de prendre en compte tant l'implication nouvelle d'acteurs privés que la spécificité des besoins militaires, notamment en matière de partage des données.

Par ailleurs, si GRAVES a parfaitement joué son rôle d'effet de levier en termes de crédibilité et d'autonomie dans l'appréciation de la situation spatiale, le développement d'un second radar géographiquement symétrique dans les territoires d'outre-mer serait nécessaire. De plus, se doter de capacités d'identification des objets détectés permettrait également de peser dans les négociations d'ensemble de la gouvernance spatiale européenne. Comme l'ont rappelé à juste titre certains observateurs, ces négociations « se fondent en effet sur les capacités concrètes et démontrées que chaque pays verse au pot communautaire, et non sur les déclarations d'intentions »¹³⁹. La France pourrait ainsi initier une réflexion sur le choix des instances européennes à même de porter le projet.

Enfin, les négociations bilatérales ou trilatérales avec nos partenaires privilégiés pourraient nourrir la détermination des autres États européens à s'engager dans une recherche de développement des capacités européennes en tant que première étape vers l'accès à l'autonomie. Parallèlement, la France pourrait entreprendre une démarche de

¹³⁸ <https://www.ttu.fr/wp-content/uploads/2018/01/AIRBUS-ET-LENJEU-DE-LA-SECURITE-DANS-LESPACE.pdf>

¹³⁹ Zajec, p. 15.

sensibilisation au niveau européen afin de conforter notre connaissance de la situation spatiale LEO et GEO.

Renforcer la surveillance spatiale française et européenne au niveau LEO (SER de 10 cm, capacité à jouer sur les bandes de fréquence radar, etc.) et au niveau GEO (télescopes optiques) est un point de passage qui devient un enjeu majeur.

B.– La multiplication des projets de petits lanceurs en Europe : éléments d'autonomie ou révélateurs de la fragilité européenne ?

L'étude a montré qu'en Europe plusieurs projets de petits lanceurs commerciaux ont été lancés par de nouveaux opérateurs (par exemple : PLD Space, Zero2Infinity, Celestia Aerospace, SMILE, Nammo Raufoss etc.) parallèlement à des projets institutionnels d'acteurs plus traditionnels dans l'accès à l'espace (ONERA, CNES, DLR, Avio, etc.) et visant à mettre en service des petits satellites.

Cette multiplication qui s'inscrit dans les logiques du « New Space » témoigne d'un intérêt diversifié peu commun jusque-là en Europe dans le domaine des lanceurs. Pour autant, ce qui pourrait s'avérer être un signe positif de dynamisme économique est largement minoré par les perspectives commerciales restant à ce jour, encore, sujettes à beaucoup d'interrogations (disjonction de l'offre et de la demande notamment, problème de la poule ou de l'œuf, etc.). L'on peut dès lors facilement supposer que, parmi cette pléthore de projets, seuls un ou deux programmes devraient réellement devenir opérationnels. En attendant, œuvrant pour que les industriels européens se positionnent comme des acteurs incontournables de la révolution du « New Space », l'Europe, via notamment Horizon 2020, finance pour une part certains de ces projets¹⁴⁰ de même que l'ESA via son programme FLPP (*Future Launcher Preparatory Program*)¹⁴¹. Toutefois, ces financements publics sont peu conséquents. Plus fondamentalement, le dernier rapport sur la stratégie spatiale européenne liste les faiblesses actuelles :

- ➔ *« constate qu'il n'y a pas de visibilité quant à la poursuite du programme de lanceurs en Europe au-delà de trois à quatre années (Ariane 6 et Vega C), ni sur la situation financière de ce programme ;*
- ➔ *s'inquiète de l'absence de tout programme de lancement à moyen et long termes ;*
- ➔ *appelle instamment la Commission à formuler une proposition de programme de travail relative aux lanceurs en Europe pour les vingt prochaines années »*¹⁴².

¹⁴⁰ Par exemple, Altair (leadership ONERA), mais aussi Arion, projet de PLD Space.

¹⁴¹ Dont notamment les projets d'ArianeGroup, MT-Aerospace, ELV, Deimos et PLD Space – http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Transportation/ESA_explores_microlaunchers_for_small_satellites

¹⁴² *Rapport sur une stratégie spatiale pour l'Europe*, Commission de l'industrie, de la recherche et de l'énergie doc A8-0250/2017, 2 septembre 2017 p. 12. – <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//NONSGML+REPORT+A8-2017-0250+0+DOC+PDF+V0//FR>

Par ailleurs, s'agissant d'Ariane 6 et Vega-C, leur concurrence partielle a conduit les Italiens et les Français à conclure un « *gentleman agreement* » afin que leur commercialisation par Arianespace reste impartiale¹⁴³.

Aux États-Unis, les choses semblent se renforcer voire s'accélérer comme en témoigne l'actualité récente concernant tant les acteurs privés¹⁴⁴ que les acteurs institutionnels¹⁴⁵, mais également en matière réglementaire¹⁴⁶ afin d'alléger les contraintes des activités spatiales privées. *A contrario*, le panorama européen actuel donne l'image d'une avancée en ordre dispersé qui tend, dès lors, à démontrer plutôt une fragilité européenne qu'une logique œuvrant pour une autonomie plus grande. L'un des facteurs majeurs de réussite passera ainsi très probablement par l'évolution de l'environnement politique et stratégique dans lequel ces opérateurs devront s'insérer.

Ce contexte est encore extrêmement lié aux conditions historiques qui ont permis l'émergence du spatial en Europe. L'approche inter-gouvernementale privilégiée avec la création de l'ESA en 1975 s'est doublée de la volonté de l'UE de se doter d'une politique spatiale européenne via notamment ses « *flagship programs* » sur un fond d'ambitions et de souverainetés nationales bien réelles. Malgré les instances de concertation créées (réunions ministérielles informelles UE-ESA¹⁴⁷ par exemple), ce tripode obère sur la capacité des pays européens à avancer de manière cohérente et concertée là où « *l'union sacrée européenne apparaît d'autant plus nécessaire que la concurrence est sans pitié* »¹⁴⁸.

Par ailleurs, et à différence des autres grandes puissances spatiales¹⁴⁹, il n'y a pas de règle de préférence européenne en matière de lancement de satellite. C'est ainsi que des

¹⁴³ <https://www.lesechos.fr/industrie-services/air-defense/0301433584140-avio-nous-devons-etre-surs-de-la-neutralite-darianespace-2161496.php>
<https://www.lesechos.fr/industrie-services/air-defense/0301431054587-espace-leurope-tente-de-mettre-de-lordre-dans-ses-lanceurs-2161766.php>

¹⁴⁴ À titre d'exemple, 5 nouveaux lancements de Vector-R sont annoncés entre 2019 et 2023, suite à la signature d'un accord entre Vector et la société britannique Open Cosmos, et Vector compte initier la construction dans le courant de cette année d'une usine de fabrication dans le comté de Pima en Arizona, qui pourrait produire jusqu'à cent lanceurs par an <http://www.parabolicarc.com/2018/02/14/vector-open-cosmos-announce-launch-deal/>, 14 février 2018.

¹⁴⁵ La DARPA lance un *Darpa launch Challenge*, compétition destinée à favoriser le développement de véhicules de lancement « réactifs », pouvant être lancés depuis différents endroits avec un temps de mise en œuvre très court. Le concept sous-jacent serait, à terme, de disposer d'un service de réservation en ligne offrant la possibilité de commander un lancement, avec un délai très court de préavis, en adéquation avec l'ensemble des caractéristiques d'une mission spécifique (masse, orbite, etc.). <http://spacenews.com/darpa-planning-responsive-launch-competition/>, 12 février 2018.

¹⁴⁶ <https://www.france-science.org/Lors-de-la-deuxieme-reunion-le.html>

¹⁴⁷ À savoir en outre qu'elles ne concernent pas la défense.

¹⁴⁸ « Pourquoi Ariane 6 reste la meilleure arme face à SpaceX », *Challenges*, 14 décembre 2017 – https://www.challenges.fr/entreprise/aeronautique/pourquoi-ariane-6-reste-la-meilleure-arme-face-a-spacex_520002

¹⁴⁹ Le *Buy American Act* prévoit que tout satellite payé par le contribuable américain doit être lancé par une fusée fabriquée à plus de 51 % aux États-Unis. Ce qui exclut de fait Ariane 5 ou les russes Soyouz

lancements institutionnels nationaux comme ceux du système allemand de surveillance par satellite SARah seront effectués par Space-X¹⁵⁰. De même, les deux satellites d'observation optique commandés par le gouvernement allemand à OHB system devraient être lancés aussi par Space-X¹⁵¹. Bien plus, Space-X récupère également le lancement du satellite Sentinel 6A, composante du programme d'observation de la Terre Copernicus et du projet d'océanographie opérationnelle MyOcean, financés par la Commission européenne¹⁵².

Réclamé par certains industriels européens, particulièrement ArianeGroup, et soutenu par la France¹⁵³, le projet d'un « *Buy European Act* » serait sur la table de l'ESA¹⁵⁴. Cet accord pourrait être signé par certains pays européens (la France, l'Allemagne, l'Italie, l'Espagne, la Belgique, la Suisse et la Grande-Bretagne, l'Irlande du nord), l'Union européenne, Eumetsat et l'ESA. Selon le projet proposé « *les contractants, qui devront développer et concevoir des satellites compatibles avec Ariane 6 et Vega C, s'engageront à "accorder une préférence" aux services de lancement proposés par Arianespace. Toutefois, l'option Soyouz à Kourou est conservée (article 3) ainsi que l'utilisation d'autres lanceurs (Rockot ?).* »¹⁵⁵

De fait, l'avenir de l'Europe en matière de petit lanceur dépendra en grande part de l'issue qu'elle donnera au paradoxe voulant que ses pays membres financent des programmes européens tout en acceptant de faire lancer leur satellites institutionnels par la concurrence.

Par ailleurs, force est de constater que l'Europe en matière d'innovation et de soutien aux nouveaux acteurs est en retrait par rapport particulièrement aux États-Unis¹⁵⁶ mais également à la Chine¹⁵⁷. Des efforts de développement de nouveaux concepts comme la réutilisabilité sont entrepris mais là encore en ordre dispersé et sur de petits segments aux ambitions limitées. À ce titre, il faut mentionner le projet de démonstrateur de

et Proton des appels d'offres américains. Idem en Chine et en Russie, où 100 % des satellites institutionnels sont mis sur orbite par des fusées nationales (Soyouz, Proton, Rockot en Russie, Long March en Chine)». Ibidem note précédente.

¹⁵⁰ <https://www.latribune.fr/entreprises-finance/industrie/aeronautique-defense/20130919trib000785968/europe-spatiale-la-trahison-allemande.html>

¹⁵¹ Audition du Général Jean-Pascal Breton, Commandant interarmées de l'espace, 20 décembre 2017, Commission de la défense nationale et des forces armées, p. 12 – <http://www.assemblee-nationale.fr/15/pdf/cr-cdef/17-18/c1718024.pdf>

¹⁵² « Un satellite de l'UE dans l'escarcelle de SpaceX », *Air&Cosmos*, 24 octobre 2017, <http://www.air-cosmos.com/un-satellite-de-l-ue-dans-l-escarcelle-de-spacex-102143>

¹⁵³ <https://www.spaceintelreport.com/airbus-safran-launchers-we-need-buy-european-act-in-2017/>

¹⁵⁴ <https://www.latribune.fr/entreprises-finance/industrie/aeronautique-defense/ariane-6-vega-c-la-revolution-copernicienne-de-l-europe-en-matiere-de-preference-europeenne-759282.html>

¹⁵⁵ Ibidem note précédente.

¹⁵⁶ À titre d'exemple, Space Policy Online du 13 mars 2018 informait d'un investissement américain de 18,4 Md\$ dans les startups spatiales entre 2000 et 2017 <https://spacepolicyonline.com/news/todays-tidbits-march-13-2018/>

¹⁵⁷ Arthur Sauzay, *Espace : l'Europe contre-attaque ?*, note de décembre 2017, Institut Montaigne, p. 69 http://www.institutmontaigne.org/ressources/pdfs/publications/espace-europe-contre-attaque-note_0.pdf

lanceur à bas coût Callisto, coopération CNES-DLR-JAXA, dont l'objectif est – pour une part – de répondre à la question de la pertinence pour l'Europe de disposer d'un lanceur réutilisable¹⁵⁸. Après avoir longtemps émis des doutes sur l'intérêt économique des technologies de lanceurs réutilisables et sur leur faisabilité technique, certains, comme le directeur des lanceurs au Centre national d'études spatiales (CNES), appellent à rattraper le retard. Le CNES se veut leader sur ce type de projet et travaille sur une feuille de route dans l'objectif de développer une famille de lanceurs moins chers que la filière Ariane avec la réutilisation comme facteur clef de réduction des coûts¹⁵⁹. Pour autant, les perspectives sont encore bien lointaines en comparaison des États-Unis et de la Chine puisque les observateurs semblent s'accorder sur le fait que l'Europe ne disposera guère avant 2025, voire après 2030, de ce type de technologie¹⁶⁰.

En tout état de cause, si l'Europe se veut présente sur le marché futur des petits lanceurs à bas coût, elle devra agir rapidement, ce qui suppose au préalable de définir une gouvernance pertinente. Une décision politique est nécessaire afin de répondre aux questions suivantes : Quel(s) acteur(s) en tant que maître d'ouvrage ? Quelle interaction/partenariat entre agences spatiales et industries, et entre les industries elles-mêmes ?

La France est naturellement concernée au premier chef et pourrait notamment être force de proposition sur le choix du concept technologique pour un lanceur à bas coût.

La question, cependant, reste ouverte de la pertinence pour l'Europe de suivre le modèle américain tel quel. À ce titre, la France pourrait également promouvoir une réflexion nationale pour mesurer l'adéquation du modèle américain à l'Europe et éventuellement s'en affranchir en privilégiant ses besoins réels en matière d'autonomie, de souveraineté, de sécurité et de défense. Cette étape pourrait être un préalable à une démarche proactive de la France au niveau européen.

3.3.2 – Options de choix pour la France et l'Europe

Trois scénarios sont à envisager avec des prérequis et implications très différents que nous déclinons chacun à 3 niveaux, celui de l'engagement politique, celui de la dimension industrielle, celui de la perspective stratégique nationale et européenne :

- ➔ *Scénario 1* : maintien de la situation à l'identique avec une prééminence américaine dans le domaine des constellations commerciales, et une présence européenne limitée sur un segment de petits satellites différents, le secteur des petits lanceurs se développant à moindres frais en fonction de choix nationaux et en jouant sur des opportunités de soutien public et privé à son financement.

¹⁵⁸ <http://www.air-cosmos.com/le-cnes-sur-tous-les-fronts-105851>

¹⁵⁹ <https://www.latribune.fr/entreprises-finance/industrie/aeronautique-defense/quand-le-cnes-reconnait-la-reussite-de-spacex-770543.html>

¹⁶⁰ Arthur Sauzay, op. cit., p. 72.

- ➔ **Scénario 2** : effacement relatif de l'Europe sur le créneau des petits satellites et petits lanceurs avec des politiques nationales autonomes des États européens et des industriels en fonction des opportunités et des circonstances et un recentrement sur le volet classique de l'activité spatiale en termes de masse et systèmes.
- ➔ **Scénario 3** : développement d'une présence européenne renforcée avec deux options :
 - ⇒ 3A : développement dans le domaine des petits satellites des projets commerciaux innovants sur d'autres segments que celui des systèmes américains, utilisation des lanceurs Vega et Soyouz/Ariane-6 entraînant un accroissement des tirs et donc l'intérêt de réutilisables ;
 - ⇒ 3B : mise au point de petits lanceurs à prix très attractifs entraînant un développement à moindre coût de constellations nouvelles de satellites inférieurs à 200 kg et renforçant ainsi la présence européenne en proposant des capacités adaptées aux besoins des opérateurs.

A.– Scénario 1 : *statu quo*

Ce scénario est le plus simple autour du maintien de la situation à l'identique, avec :

- ➔ une prééminence américaine incontestée dans le domaine des constellations commerciales, moindre dans le domaine des petits lanceurs ;
- ➔ une présence européenne limitée sur un segment de petits satellites différents, le secteur des petits lanceurs se développant à moindres frais en fonction de choix nationaux et en jouant sur des opportunités de soutien public et privé à son financement.
- ➔ Au niveau de l'engagement politique :
 - ⇒ les instances de l'Union financent *a minima* des projets exploratoires de recherche et développement de petits satellites en sus des programmes en cours, et à la marge des projets de petits lanceurs via des consortiums ;
 - ⇒ l'ESA soutient la recherche technologique au niveau des projets nationaux de petits lanceurs et poursuit des programmes exploratoires dans des technologies futures comme la propulsion, la miniaturisation des composants, la proposition de nouvelles architectures ;
 - ⇒ les pouvoirs publics nationaux encouragent l'innovation au travers de leurs agences via des projets spécifiques et en se concentrant sur des domaines particuliers comme pour les lanceurs, le réutilisable dans le cas du CNES, ou l'évolution de capacités nationales existantes dans le

cas de l'Italie voire de la Norvège. L'Angleterre poursuit une politique d'encouragement des acteurs privés avec une réglementation souple.

➔ Au niveau industriel :

- ⇒ les acteurs industriels traditionnels impliqués dans la conception et fabrication de lanceurs et satellites poursuivent chacun leur politique de présence dans les constellations existantes développées aux États-Unis en fonction de leur propre stratégie ;
- ⇒ les opérateurs entrent dans le capital des constellations en développement pour rester dans le jeu et bénéficier des opportunités.

➔ Au niveau stratégique national et européen :

- ⇒ les systèmes gouvernementaux continuent à exploiter des plates-formes classiques en recherchant le meilleur rapport coût/fiabilité/disponibilité dans le choix des lanceurs y compris pour le volet militaire. Certains États directement intéressés appliquent la préférence européenne, d'autres non ;
- ⇒ les systèmes européens poursuivent leur développement en préservant les capacités jugées essentielles à l'autonomie européenne et à sa présence sur la scène internationale ;
- ⇒ le recours aux systèmes commerciaux américains vient en complément ou pour répondre complètement aux besoins nationaux selon les budgets disponibles ;
- ⇒ l'Europe ne modifie pas ses ambitions pour être présente significativement sur ces nouveaux créneaux de l'activité spatiale ;
- ⇒ les États européens et l'Europe continuent au même niveau leur implication dans les instances internationales de gouvernance de l'activité spatiale : débris, fréquences...

Nota : dans ce scénario, l'existence ou non d'une concurrence chinoise ne change pas les données du problème pour l'Europe.

B.– Scénario 2 : effacement relatif de l'Europe sur le créneau des petits satellites et petits lanceurs

On assiste à :

- ➔ la mise en œuvre de politiques nationales non coordonnées des États européens ;
- ➔ des approches industrielles de sous-traitance en fonction des opportunités et des circonstances ;
- ➔ un recentrement sur le volet classique de l'activité spatiale en termes de masse et systèmes pour l'ESA.

- ➔ Au niveau de l'engagement politique :
 - ⇒ la question du « New Space » n'est pas considérée comme méritant une attention particulière et un engagement au niveau des États et/ou des instances européennes ;
 - ⇒ les nouveaux systèmes sont vus comme un épiphénomène ou un phénomène purement américain et disjoint de l'écosystème européen privé de forte motivation politique pour un soutien effectif à l'apparition d'acteurs privés susceptibles de reprendre le flambeau à la place des instances nationales.

- ➔ Au niveau industriel :
 - ⇒ l'effet de roulement compresseur du modèle Space-X, développant en totale synergie sa constellation qui conforte sa position dominante sur le marché lanceur, est considérée comme inattaquable ;
 - ⇒ l'option alternative One Web est saisie comme une opportunité parmi d'autres avec un engagement à risque limité puisque bénéficiant de l'environnement favorable américain tant sur le plan des capitaux disponibles que de la réglementation ;
 - ⇒ les industriels s'engagent de façon ponctuelle au travers de sous-traitances et en acceptant de renforcer la prééminence américaine.

- ➔ Au niveau stratégique national et européen :
 - ⇒ les instances européennes et les États tirent la leçon de l'avance américaine et de l'éventuelle détermination chinoise à se positionner sur ces nouveaux créneaux ;
 - ⇒ considérant le caractère limité du marché et des opportunités, l'Europe se voit en utilisatrice des systèmes en question avec, éventuellement, une focalisation sur les applications aval ;
 - ⇒ en faisant l'impasse sur un créneau déjà préempté par les États-Unis que ce soit au niveau réglementaire national et international en favorisant ses opérateurs, l'Europe peut préserver ses ressources pour d'autres niches d'activités innovantes, spatiales ou pas ;
 - ⇒ l'Europe renonce, en revanche, à avoir une place dans ce segment d'activité si celui-ci s'avérait nourrir de nouvelles solutions technologiques et ouvrir de nouveaux marchés.

C.– Scénario 3 – développement d'une présence renforcée avec deux options

- ➔ * 3A : développement dans le domaine des petits satellites des projets commerciaux innovants sur d'autres segments que celui des systèmes américains,

utilisation des lanceurs Vega et Soyouz/Ariane-6 entraînant un accroissement des tirs et donc l'intérêt de réutilisable ;

- ➔ * 3B : mise au point de petits lanceurs à prix très attractifs entraînant un développement à moindre coût de constellations nouvelles de satellites inférieurs à 200 kg et renforçant ainsi la présence européenne en proposant des capacités adaptées aux besoins des opérateurs.
- ➔ Au niveau de l'engagement politique, quelle que soit l'option considérée, elle suppose :
 - ⇒ une implication forte du politique au travers d'initiatives créant un cadre favorable sur le plan réglementaire international et national ;
 - ⇒ un soutien financier d'envergure garanti dans la durée et suscitant des propositions d'acteurs présents dans des champs spécifiques comme l'intelligence artificielle ou les nanotechnologies, la production additive... afin d'ouvrir de nouvelles approches ;
 - ⇒ une garantie d'usage des nouveaux systèmes, de préférence dans une perspective duale ;
 - ⇒ la mise en place de mécanismes favorisant la disponibilité de capital-risque.
- ➔ Au niveau industriel :
 - ⇒ des acteurs (spatiaux ou non) qui ont une stratégie propre intégrant le développement des petits satellites et/ou des petits lanceurs dans une perspective large, les différents éléments se soutenant mutuellement pour garantir la cohérence du tout ;
 - ⇒ des propositions de niches différentes de celles choisies par les acteurs privés américains comme la surveillance du climat, la mise en place de production en orbite...
 - ⇒ des recherches de partenariats bilatéraux ou multilatéraux sur des projets ciblés avec des acteurs en devenir comme l'Inde, ou confirmés comme le Japon.
- ➔ Au niveau stratégique national et européen :
 - ⇒ la mise en place d'une réflexion originale sur une position européenne qui puisse être proposée dans les instances internationales et rallier le soutien d'États tiers offrant ainsi une occasion de *soft power* ;
 - ⇒ le soutien à des systèmes souples et modulables aisément reconfigurables en fonction des évolutions internationales ;
 - ⇒ la prise en compte de ces systèmes comme complémentaires aux programmes existants.

Annexe 1 TABLEAU HISTORIQUE PETITS LANCEURS ARRÊTÉS/RETIRÉS (PROJETS OU DÉVELOPPÉS)

Launch vehicle Name	Country of origin/Organization(s)	First Launch/test flights date	Filiation avec Missile	Propulsion	Launch Method	Launch Location(s)	Payload capacity	Comments
R-7A/Sputnik 8K71PS	URSS/OKB-1	1957	R-7 family's	Liquid	Land	Baikonur	500 kg /200 km	
R-7A/Sputnik 8A91	URSS/OKB-1	1958	R-7 family's	Liquid	Land	Baikonur	1,327 kg/217 km	
Vanguard (1957-1959)	USA/Martin	1957		Solid/Liquid	Land	Cape Canaveral Air Force Station	9kg/LEO	Based on Viking sounding rocket
Thor (1957-1980)	USA/USAF/Douglas Aircraft	1957	Based on Thor IRBM	Liquid +solid upper stage depending on the version	Land	Cape Canaveral Air Force Station Johnston Island, Vandenberg	Depending on the versions ¹⁶¹	
Scout (1961-1994)	USA/NASA/ LTV Aerospace's Missiles and Space Division	1960(F)		Solid	Land	Cape Canaveral, Vandenberg, Wallops Island, and from Italy's equatorial San Marco platform (Kenya)	Between 59 to 220kg depending on the version ¹⁶² /LEO	
Atlas A	US Air Force/Nasa/Convair Division of General Dynamics	1957 ¹⁶³	Based on XB-35 (Atlas) missile ¹⁶⁴	Liquid	Land	Cape Canaveral		Never operational. Used for the development of the missile
Atlas B	US Air Force/Nasa/Convair Division of General Dynamics	1958 ¹⁶⁵	Based on XB-35 missile	Liquid	Land	Cape Canaveral	68kg/LEO	Last flight in 1959
Atlas C	Nasa/Convair Division of General Dynamics	1959	Based on XB-35 missile	Liquid	Land	Cape Canaveral	180kg LEO	Never operational.

¹⁶¹ More than 20 versions under 4 types : Thor Able (until 120kg/LEO), Thor Able-Star (150 kg/LEO), Thor Agena (from 250 kg to 2000kg/LEO), Thor with solid-fuel upper stage (Thor burner; 770kg/LEO)

¹⁶² http://space.skyrocket.de/doc_lau_fam/scout.htm

¹⁶³ The first two failed

¹⁶⁴ XB-65. But was renamed SM-65 in 1955 then CGM-16 after 1962. First US ICBM

¹⁶⁵ SCORE Satellite, first US telecommunications satellite

Launch vehicle Name	Country of origin/Organization(s)	First Launch/test flights date	Filiation avec Missile	Propulsion	Launch Method	Launch Location(s)	Payload capacity	Comments
Tsyklon-1/ 11K64	KB Yuzhnoe		Based on R16 missile	Liquid	Land		700kg/LEO	Project cancelled
Kosmos-1¹⁶⁶ /63S1	Yangel OKB-586	1961(F)	Based on R12 missile	Liquid	Land	Kapustin Yar	350kg/LEO	Last flight 1967
Kosmos 2/ 11K63	Yangel OKB-586	1964	Based on R12 missile	Liquid	Land	Kapustin Yar then Ple-setsk	350kg/LEO	Last flight 1977
Kosmos-1/ 65S3	Yangel OKB-586, OKB-10	1964	Based on R14 missile IRBM	Liquid	Land	Baïkonour	1250 kg/LEO	
Kosmos-3¹⁶⁷ /11K65 (8K65S3)	OKB-10	1966	Based on R14U missile IRBM	Liquid	Land	Baïkonour	1250 kg/LEO	Last flight 1968
Kosmos-3M/ 11K65M (8K65S5)¹⁶⁸	Russia/Ukraine /KBYuzhnoye/ AKO Polyot	1967	First stage based on the R-14 U IRBM	Liquid	Land	Plesetsk Kapustin Yar	1250 kg/LEO 850kg/SSO	Retired at this time Last flight in 2010, discontinued in favor of Angara-1
Vzlet/Kosmos-3MU/ 11K65MU	PO Polyot		Based on R14U missile	Liquid	Land		1500kg/LEO	Cancelled
Black Arrow (1964-1971)	UK/ Royal Aircraft Establishment	1969 (F)	Blue Steel & Blue Streak ¹⁶⁹ Missile	Solid	Land	Woomera Instrumented Range, Woomera, South Australia	100kg/LEO	Retired in 1971
Europa-1 (1963-1968)	Europe/ELDO	1968 (failed)	Based on Blue Streak IRBM (UK)	Liquid	Land	Woomera Instrumented Range	1000-1200 kg/LEO O ¹⁷⁰ 200kg/GTO	Substituted by Europa -2
Lambda 4S (1963-1979)	Japan/ISAS/Nissan Motors	1966 (F) ¹⁷¹		Solid	Land	Kagoshima Space Center / Uchinoura Space Center	26kg/LEO	Retired in 1970
Diamant (1961-1975)	France/CNES/	1965	Based on S2 and M1 missile	Liquid/Solid	Land	Centre interarmées d'essais d'engins spatiaux (CIEES), Hammaïguir, Algeria Centre Spatial Guyanais	150kg/200km	

¹⁶⁶ <http://www.russianspaceweb.com/cosmos2.html>

¹⁶⁷ Kosmos-1(65S3) modified

¹⁶⁸ A modified version to accommodate the large antenna of SAR-Lupe satellite was built with OHB System

¹⁶⁹ to test and verify the design of a re-entry vehicle for the Blue Streak missile the Black Knight rocket was developed and used

¹⁷⁰ https://www.capcomspace.net/dossiers/espace_europeen/ariane/espace_europeen/europa.html

¹⁷¹ First success launch 1970

Launch vehicle Name	Country of origin/Organization(s)	First Launch/test flights date	Filiation avec Missile	Propulsion	Launch Method	Launch Location(s)	Payload capacity	Comments
CZ-1 (Changzheng-1), Long March-1 (1965-2002)	China/	1970	first and second stages were adapted from those of the DF-3 intermediate range ballistic missile	Solid	Land	Jiuquan Space Center Taiyuan Satellite Launch Center	300 kg/440km 250kg/GTO	Retired 2002
M-4S ¹⁷² (1970-1972)	Japan/ISAS/IHI Aerospace	1970		Solid	Land	Kagoshima Space Center / Uchinoura Space Center	180kg/LEO	Retired in 1972
Delta 1 family (1960-1994)	USA/Douglas Aircraft ¹⁷³		Thor IRBM	Solid/Liquid	Land	Cape Canaveral, Vandenberg	Depending on the version See in annex	Small launcher until 1974
M-3C (1974-1979)	Japan/ISAS/ IHI Aerospace	1974		Solid	Land	Kagoshima Space Center / Uchinoura Space Center	195kg/LEO	Retired in 1979
M-3H (1977-1978)	Japan/ISAS/ IHI Aerospace	1977		Solid	Land	Kagoshima Space Center / Uchinoura Space Center	300kg/LEO	Retired in 1978
M-3S (1980-1984)	Japan/ISAS/ IHI Aerospace	1980		Solid	Land	Kagoshima Space Center / Uchinoura Space Center	300kg/LEO	Retired in 1980
M-3S2 (1985-1995)	Japan/ISAS/ IHI Aerospace	1985		Solid	Land	Kagoshima Space Center / Uchinoura Space Center	800kg/LEO	Retired in 1995
Kayser I (1975-1987)	Germany/OTRAG ¹⁷⁴	First Suborbital test 1977		Liquid	Land	Shaba North, Kapani Tonneo, Zaire Camp Tawiwa, Sebha Oasis, Jarmash, Libya Esrange, Kiruna, Sweden		First private company to want to design space launchers. Project stopped before orbital attempts could be made
SLV-3 (1970-1982)	India/ISRO	1979 (F)	the first stage of the SLV is used for the first stage of the AGNI Demonstrator (missile) ¹⁷⁵	Solid	Land	Sriharikota Space Center	40kg/LEO	Retired in 1983

¹⁷² <http://www.astronautix.com/m/mu.html>

¹⁷³ Then McDonnell Douglas then

¹⁷⁴ <http://www.b14643.de/Spacerockets>. ¹West Europe/OTRAG/Description/Frame.htm

¹⁷⁵ Le missile Agni est un démonstrateur dont le développement commence fin 1984 après les premiers tests couronnés de succès du système de guidage inertielle du missile Devii adapté. Il est composé de deux étages dont le premier à propulsion solide est dérivé du SLV-3, le deuxième étage à propulsion liquide provenant du Prithvi dont la propulsion dérive des missiles SA-2 soviétiques, testé en 1988.

Launch vehicle Name	Country of origin/Organization(s)	First Launch/test flights date	Filiation avec Missile	Propulsion	Launch Method	Launch Location(s)	Payload capacity	Comments
N-1 (2 stages version) (1975-1982)	Japan/ Mitsubishi Heavy Industries/NASDA/United States/McDonnell Douglas ¹⁷⁶	1975	Thor IRBM missile	Solid (boosters)/Liquid (stages 1&2) ¹⁷⁷	Land	Tanegashima Space Center	1200 kg/LEO 360kg/GTO	Retired in 1982
ALSV (1980-1994)	India/ISRO	1987 (F)		Solid	Land	Sriharikota Space Center	150kg/400km	Successor of SLV-3
Al-Abid ¹⁷⁸ (1988-1991)	Irak	1989 ¹⁷⁹	Based on versions of indigenous modified Scud and SA-2 liquid propellant missiles	Liquid	Land	Al-Anbar base	100-300 kg/200-500km	Cancelled
Scout-2 ¹⁸⁰ (1987-1992)	Italie/University of Roma	1992 ¹⁸¹	First stage concept of the original Scout was applied directly from the U.S. Navy Polaris missile program. Second stage from Sergeant missile	Solid	Sea launch	San Marco platform		Proposed upgrade of US rocket Scout. Cancelled in 1992
Pegasus (1990-2013)	USA/Orbital science			three stage solid fuel rocket with optional liquid fourth stage	Air Launch NASA's Boeing NB-52 aircraft, while the later versions used OS-C's Lockheed L-1011 aircraft			Pegasus XL is the only in service today
Athena 1	USA/Lockheed Martin Astronautics	1997		Solid/Liquid(third stage)	Land	Cape Canaveral Vandenberg Kennedy Space Center	795kg/LEO	Last flight 2001
J-1	Japan/NASDA/ISAS/	1996		Liquid	Land	Tanegashima Space Center	850kg/LEO	Cancelled in 1996

¹⁷⁶ Licensed version of US rocket Delta built in Japan.

¹⁷⁷ Third stage when used : solid.

¹⁷⁸ Compendium, UNMOVIC, <http://www.thespacereview.com/archive/1498.pdf>

¹⁷⁹ test of the first stage of the Al Abid, the second and third stages were only mockups.

¹⁸⁰ http://useurop.univ-perp.fr/smasct_f.htm

¹⁸¹ A unique flight test was undertaken on 19 March 1992 from Salto di Quirra. http://www.b14643.de/Spacerockets_1/West_Europe/Scout-2/Description/Frame.htm

Launch vehicle Name	Country of origin/Organization(s)	First Launch/test flights date	Filiation avec Missile	Propulsion	Launch Method	Launch Location(s)	Payload capacity	Comments
Capricorno (1992-1999)	Spain/National Institute for Aerospace Technology (INTA)	Cancelled before any flights could be made.	The vehicle's first stage was initially designed to use the solid rocket motor developed for the Argentino-Egypto-Iraqi Condor-2 ballistic missile (1992)	Solid	Land	El Aranosillo (Spain's Atlantic Coast), with later launches from the Canary Islands	50kg/700km	On June 16, 1997, INTA announced that the American Castor-4B solid rocket motor had been selected as the first stage for Capricorno. Thiokol was contracted by INTA to provide motors for the first two Capricorno missions, with the initial flight scheduled for 1999. Cancelled in 2000 Cancelled in 1994
RSA-3 (?-1994)	South Africa/Houwteq organization	1989	based on the 2-stage Jericho-II MRBM	Solid	Land	Overberg Test Range	330kg/ 210km	
Burlak (1991-1994)	Russia/ MKB Raduga ¹⁸²	NA		Liquid	Air Launch from Tu-160 bomber Land	Kagoshima Space Center / Uchinoura Space Center	1100kg/200km	based on secret anti-satellite missile ¹⁸³
M-V (1997-2006)	Japan/ISAS	1997		Solid	Land		1300-1800 kg/LEO	Retired in 2006
Riksha (1994-1997)	KB Mashinostroenia/ KB Makeyev / Rosaviakosmos/ Daimler-Benz Aerospace Infrastructure (DASA-RI)		Based on SLBM technologies	Liquid	Submarine		1700kg/LEO	Feasibility study for a family of joint Russian-German lightweight SLVs.
ULV-22 Yedinstvo ¹⁸⁴ (1995-2001)	Russia/KB Makeyev / United Launch Systems International (ULSI) ¹⁸⁵		Based on SLBM technologies	Liquid	Land	Hammock Hill Island	LEO	The project stalled due to inability to attract investors. No known development or production funding was forthcoming.

¹⁸² Germany in 1992-1994 joined the conceptual studies, and the launcher name was changed to Diana-Burlak <http://www.globalsecurity.org/space/world/russia/air.htm>

¹⁸³ <http://www.astronautix.com/b/burlak.html>

¹⁸⁴ <http://makeyev.msk.ru/pub/mysys/2002/makeyev.htm>

¹⁸⁵ http://www.b14643.de/Spacerockets_1/East_Europe_3/ULV-22/Description/Frame.htm

Australian Company.

Launch vehicle Name	Country of origin/Organization(s)	First Launch/test flights date	Filiation avec Missile	Propulsion	Launch Method	Launch Location(s)	Payload capacity	Comments
Space Clipper	Ukraine/ yu-zhnoye ¹⁸⁶	?		Liquid	Air Launch (modified An-124-100 Ruslan)			In project since ? Status of the program undetermined
Taepo Dong 1 SLV version (Pek-dosan-1)	North Korea/KCST	1998	First stage being the Nodong MRBM, the second being a modified Hwasong (Scud) SRBM missile	Liquid (Stage 1&2)/Solid (Stage3) ?	Land	Tonghae (Musudan-ri)		Merely a technological demonstrator, which was never intended for operational use.
Priboi (Priboy) (2000's)	Russia/ KB Mashinostroenia/ KB Ma-keyev		Based on SLBM technologies R-39 and R-29RM	Solid (stages)/Liquid (boosters)	Submarine or Air launch (An-124 Ruslan or An-225 Mirya)		1.5 T/LEO for Priboy-M	Project never developed
RIF-MA (2000's)	Russia/ KB Mashinostroenia KB Ma-keyev		Based on SLBM technologies R-39	Solid	Submarine or Air launch (An-124 Ruslan or An-225 Mirya)		0,95-1,7 T/LEO	Project never developed
KT-1 (kaituozhe-1)	China/CASIC	2002	based on the road mobile DF-21 IRBM	Solid	Land	Taiyuan Satellite Launch Center	100kg/LEO	cancelled after two unsuccessful launches but possibly the launch vehicle for the chinese ASAT system, which was tested against an old chinese weather satellite in 2007
Mayak-12 (2005-2013)	Ukraine/ NPO Yushnoye		Based on technological heritage of Tsyklon (R-36 ICBM filiation) and Zenit	Liquide	land		1.7 tons/500 km SSO	Was discontinued in favor of a new concept Mayak-L.
Ishim¹⁸⁷ (2004-2006)	Russia/ kazakhstan/ Mikoyan/Moscow Institute of Heat Engineering/ Kazkosmos		Based on the MIG-31D program (Mig-31 modified into missile carriers (ASAT missile) ¹⁸⁸	Solid	Air launch (Mig-31)		250kg/LEO ¹⁸⁹	Project suspended by Kazakhstan government ¹⁹⁰ .

¹⁸⁶ http://www.light-tps.eu/downloads/meetings/2014-05_kickoff/partners/3%20-%20YUZHNOYE%20-%20General%20presentation.pdf

¹⁸⁷ Studied and developed since 1986 <http://sputniknews.com/analysis/20060519/48337167.htm> and Yefim Gordon, Dmitry Komissarov, Flight Craft 8 : Mikoyan Mig-31 : Defender of the Homeland, ed.Pen and Sword, October 2015, 96 pages, pp. 28-31.

¹⁸⁸ <http://www.globalsecurity.org/space/world/russia/mini.htm>

¹⁸⁹ http://personal.ee.surrey.ac.uk/Personal/T.Vladimirova/LectureSeries/slides/2007_2008/CNES_Guest_Lecture_Surrey_9thSeptember2008.pdf

¹⁹⁰ Yefim Gordon, Dmitry Komissarov, Flight Craft 8 : Mikoyan Mig-31 : Defender of the Homeland, p. 31.

Launch vehicle Name	Country of origin/Organization(s)	First Launch/test flights date	Filiation avec Missile	Propulsion	Launch Method	Launch Location(s)	Payload capacity	Comments
Naro-1 (KSLV-1) ¹⁹¹	South Korea/Russia/Kari	2013		1st stage Liquid ¹⁹² /2nd Stage Solid	Land	Naro Space Center, Goheung County, South Jeolla	100kg/LEO	Retired in favor of KSLV-II
Falcon-1 (2006-2009)	USA/SpaceX	2006 (F)		Liquid	Land	Omelek Island, Kwajalein, Marshall Islands	470kg/LEO	Reusable was to be superseded by Falcon 1e
Falcon-1e	USA/SpaceX			Liquid			1010kg/LEO	Upgraded version of Falcon-1
SWORDS ¹⁹³ (US Army Nanomissile Soldier-Warfighter Operationally Responsive Deployer for Space)	USA/ Office of the Secretary of Defense/ U.S. Army Space and Missile Defense Command / Army Forces Strategic Command/ NASA			Liquid	Vertical Mobile Launch		25kg/ 750km 28.5°	Cancelled in 2014 due to too high costs.
VLS-1	Brazil/CTA	Cancelled before any flights could be made.		Solid	Land	Alcantara	380kg/LEO	Cancelled in 2016. ¹⁹⁴

¹⁹¹ http://www.kari.re.kr/eng/sub03_03_02.do

¹⁹² Russian first stage: URM-1 first stage of the Angara rocket, but using a downrated RD-151 instead of the RD-191 engine.

¹⁹³ <https://web.archive.org/web/20140124081730/http://www.smdc.army.mil/FactSheets/SWORDS.pdf>

¹⁹⁴ <http://smdsymposium.org/wp-content/uploads/2013/09/Rich-White-presentation.pdf>

¹⁹⁴ <http://spaceflights.news/?p=31439>

<http://www.iae.cta.br/index.php/ultimas-noticias/331-iae-propoe-revisar-o-programa-de-veiculos-lancadores-de-satelites1>

LANCEURS DELTA

Tableau reconstitué à partir de http://space.skyrocket.de/doc_lau/delta.htm

Name	First Launch	Performance (kg) LEO	Performance (kg) LPEO	Performance (kg) SSO	Performance (kg) GTO	Retired
Delta	1960	270			45	1962
Delta-À	1962	320			68	1962
Delta-B	1962	375			68	1964
Delta-C	1963	410			82	1967
Delta-CI	1966	600				1969
Delta-D	1964	575			104	1965
Delta-E	1965	735	553		150	1967
Delta-EI	1966				205	1971
Delta-G	1966				-	1967
Delta-J	1968	800			263	1968
Delta-L	1969	998	680		356	1972
Delta-M	1968				356	1971
Delta-M6	1971	1293	975		454	1971
Delta-N	1968	900			-	1972
Delta-N6	1970	1600			-	1971
Delta-300	1972				-	1973
Delta-900	1972			816	-	1973
Delta-1604	1972					1973
Delta-1410	1975	340			-	1975
Delta-1900	1973	1800			-	1973
Delta-1910	1975				-	1975

Name	First Launch	Performance (kg) LEO	Performance (kg) LPEO	Performance (kg) SSO	Performance (kg) GTO	Retired
Delta-1913	1973	-	-	-	-	1973
Delta-1914	1972	-	-	-	680	1973
Delta-2310	1976				-	1981
Delta-2313	1974	-	-	-	-	1977
Delta-2910	1975					1978
Delta-3913	1981					1981
Delta-2910	1975	1887	1392	-	-	1978
Delta-2913	1975	-	-	-	-	1976

Annexe 2 FICHE PAYS – ÉTATS-UNIS

Ce document s'appuie sur la lecture de la littérature spécialisée et l'expérience de l'auteur ainsi que sur des entretiens réalisés à Washington en décembre 2017¹⁹⁵.

A. LE CONTEXTE DU SPATIAL AMÉRICAIN, PHILOSOPHIE DES SYSTÈMES "PETITS", TYPES D'ACTEURS

L'intérêt pour les systèmes petits lanceurs/petits satellites aux États-Unis a été immédiat dès l'apparition des premiers cubesats et bien avant l'émergence du phénomène « New Space ». La DARPA et l'US Air Force en particulier ont, depuis les années 1990, financé auprès de nombreuses universités américaines, des projets technologiques exploratoires à base de cubesats. L'intérêt des institutions militaires pour les petits lanceurs est également fort, tiré en particulier par les enjeux de réactivité opérationnelle (« *Operational Responsive Space* »).

La NASA, à l'instar de la plupart des agences spatiales civiles, n'y a pas immédiatement vu d'intérêt pour ses activités propres et s'était contentée jusqu'à il y a quelques années de proposer des programmes de soutien technologique génériques ou des facilités pour la mise en orbite de microsattelites d'origine privée, en particulier depuis la Station Spatiale Internationale. Plus récemment, elle a toutefois mis en œuvre un programme d'expérimentations scientifiques à base de cubesats de 6 unités appelés à être lancés soit vers l'orbite basse à partir de l'ISS, soit vers des orbites plus éloignées à l'occasion des futurs lancements SLS vers l'orbite cis-lunaire.

Du côté du secteur privé, de nombreuses initiatives de projets opérationnels à base de petits satellites et de petits lanceurs ont éclos depuis quelques années, mettant à profit l'ensemble des outils de soutien au « *Small Businesses* » mis en place par le gouvernement fédéral.

¹⁹⁵ Personnes rencontrées par Jean-Jacques Tortora : Bureau ESA Washington, Micheline Tabache : Head of Office ; Bureau du CNES Washington, Norbert Paluch : Attaché spatial ; FAA, Dorothy Reimold : Director of Strategic Operations, John Sloan : Program Lead for International Outreach, Nate McIntyre : Advisor for Industry Affairs and Outreach, Uyên-Minh Favila : Foreign Affairs Specialist European Union ; George Washington University Space Policy Institute, Henry Hertzfeld : Director ; National Space Council, Scott Pace : Executive Director (informel); Commercial Spaceflight Federation, Eric Stallmer : President ; NASA James Norman : Director Launch Services, Anne Sweet : Launch Services Program Executive, Anthony Tsougranis : Office of International and Interagency Relations, Chris Moore : Advanced Exploration Systems Division ; Department of State, Ken Hodgkins : Director of Space and Advanced Technologies.

B. LES PROJETS PETITS LANCEURS AMÉRICAINS : DESCRIPTION ET ANALYSE DES CARACTÉRISTIQUES PROPRES

À ce jour, 2 systèmes sont opérationnels aux États-Unis, entrant dans la catégorie des petits lanceurs. Minotaur-C et Pegasus-XL.

Lanceur	Opérateur	Premier lancement	Masse en LEO (kg)	Prix par lancement
Minotaur-C	Orbital ATK	2017	1278-1458	40-50 M\$
Pegasus XL	Orbital ATK	1994	450	40 M\$

De par ses performances et sa conception basée sur la réutilisation d'éléments de missiles balistiques, Minotaur-C ne peut probablement pas être assimilé aux autres projets de petits lanceurs.

L'exploitation à des fins commerciales de missiles balistiques déclassés soulève du reste de vives protestations de la part de l'industrie américaine des lanceurs, qui s'élève contre la compétition inéquitable de lanceurs basés sur des systèmes largement financés par des fonds publics, mettant en péril une industrie tout juste émergente, essentiellement financée sur fonds privés.

Lanceur	Opérateur	Premier lancement	Masse en LEO (kg)	Prix par lancement
Alpha	Firefly Space Systems	2019	1 000	10 M\$
Cab-3A	Cubecab	2018	5	250 k\$
Electron	Rocket Lab	2018	150	4,9 M\$
Launcher One	Virgin Orbit	2018	400	10 M\$
Stratolaunch	Stratolaunch Systems	2018	3 000	Non Disponible
Vector R/H	Vector Space Systems	2018/2019	60-110	1,5M\$/3M\$

C. LES PROJETS PETITS SATELLITES AMÉRICAINS : DESCRIPTION ET ANALYSE DES CARACTÉRISTIQUES PROPRES

Les projets de petits satellites américains se répartissent entre le secteur des télécommunications et celui de l'imagerie spatiale comme suit :

Dans le domaine des télécommunications, les petits satellites sont envisagés dans le cadre de vastes constellations défilantes en orbite basse. Plusieurs projets ont fait l'objet d'annonces, et qui sont à des stades d'avancement divers. Tous ciblent prioritairement le marché de la connexion internet haut débit, en particulier vers les zones mal desservies par les réseaux terrestres.

Space-X a soumis une demande de licence pour une constellation de quelque 4 425 satellites de 386 kg en orbite basse répartis sur plusieurs plans et à différentes altitudes. Opérant en bande Ku et en bande Ka, la constellation reposera sur des liaisons optiques intersatellites pour assurer la continuité de la couverture. Le déploiement a été annoncé pour s'étaler entre 2019 et 2025 sans communiquer de détails sur la stratégie de lancement envisagée.

One Web LLC développe une constellation de 650 à 900 satellites de la classe 125 kg opérant à 1 200 km d'altitude en bande Ku. Les satellites sont en cours de production par Airbus Defense and Space pour un déploiement d'ici 2019 par Soyouz/Arianespace et le lanceur LauncherOne/Virgin Orbit.

Leosat prévoit une constellation de 78 à 108 satellites HTS en bande Ka répartis en 6 orbites polaires prévus pour être déployés d'ici 2019.

Les opérateurs Telesat et Viasat ont également déposé des dossiers pour des constellations :

- ➔ Telesat prévoit une constellation de 117 satellites en orbite basse en bande Ka ;
- ➔ Viasat prévoit une constellation de 24 satellites en orbite moyenne venant compléter son système Géostationnaire Viasat-3 opérant en bande Ka et en bande V.

Dans le domaine de l'observation de la Terre, le tableau ci-dessous dresse une liste (non exhaustive) de projets nord-américains à base de petits satellites :

Système	Opérateur	Fabricant	Satellites	Masse (kg)	Résolution (m)	Année de Lancement
CERES	Planetary Resources	Planetary Resources	10	TBD	10	2018
Capella	Capella	Capella	30	TBD	1	2020
CICERO	GeoOptics	GeoOptics/LASP	24	TBD	N/À	TBD
Dove	Planet	Planet	> 100	10	3-5	2013
HawkEye	HawkEye	HawkEye/DSI	3	TBD	N/À	2017
HOPSat	Hera Systems	Hera Systems	48	12	1	2017
Land Mapper	Astro Digital	Astro Digital	30	10	2,5-20	2017
Lemur	Spire Global	Spire Global / Clyde Space	> 50	10	N/À	2016
NuSat	Satellologic	Satellologic	25	37	TBD	2017
PlanetiQ	PlanetiQ	Blue Canyon Technologies	18	20	N/À	TBD
RapidEye	Planet	MDA	5	150	6.5	2008
SeeMe	Raytheon	Raytheon	24	25	TBD	2016
SkySat	Planet	Skybox Imaging / SSL	24	90	1	2013

UrtheDaily	UrtheCast / OmniEarth	SSTL	8	TBD	5	TBD
XpressSAR	XpressSAR Inc.	TBD	4	TBD	1	TBD

Les acteurs industriels récents les plus significatifs sont les suivants :

GeoOptics Inc.

GeoOptics est une jeune entreprise qui vise à déployer une constellation de petits satellites appelés CICERO (*Community Initiative for Continuous Earth Remote Observation*). Ces satellites n'embarquent pas de systèmes d'imagerie mais visent à collecter des données environnementales (température, pression atmosphérique, hygrométrie) en exploitant les phénomènes de radio-occultation des signaux GNSS dans l'atmosphère.

GeoOptics prévoit le déploiement par le lanceur LauncherOne de Virgin Orbit d'une constellation de 24 satellites opérationnels d'ici fin 2018.

Urthecast/OmniEarth

La société canadienne Urthecast et la société américaine OmniEarth prévoient de déployer un minimum de 3 satellites dans le cadre de leur projet de constellation OptiSar, qui embarqueront en même temps des instruments d'observation optique et radar fabriqués par SSTL.

En complément, ces deux sociétés ont conclu un partenariat pour le déploiement d'une autre constellation (UrtheDaily) de 8 satellites optiques, également fabriqués par SSTL.

PlanetiQ

Créée en 2012, la société PlanetiQ prévoit d'opérer d'ici 2020 une constellation de 18 micro-satellites d'environ 20 kg pour délivrer des données météorologiques, climatologiques et de météorologie spatiale, mesurées selon le principe de radio-occultation des signaux GNSS.

Planet

Planet (anciennement Planet Labs) est une compagnie d'analyses de données qui vise à déployer et maintenir une constellation d'au moins 100 microsattelites (3 Unités) conçus pour collecter en continu des données d'imagerie optique. La résolution est de 3 à 5 mètres, suffisante pour des applications environnementales en particulier. Le grand nombre de satellites permet d'assurer une couverture permanente pour un coût réduit.

Planet a levé 183 M\$ fin 2016.

En 2015, Planet a acquis la constellation de 5 satellites Rapideye, et en février 2017 le système TerraBella de Google pour un montant non divulgué.

En 2016, Planet a signé 3 contrats de lancement avec RocketLabs pour des emports sur des lanceurs Electron dédiés de quelque 30 satellites. En parallèle, Planet poursuit depuis 2014 sa stratégie de lancement à partir de mission cargo vers l'ISS.

Terra Bella

Terra Bella, anciennement Skybox Imaging, est un nouvel acteur dans le domaine de l'imagerie commerciale. La société a obtenu une licence de la NOAA pour ses deux premiers satellites SkySat-1 et Skysat-2. SkySat-1 a été lancé par Dniepr en 2013 et SkySat-2 par Soyouz en 2014, tous les deux dans le cadre de lancements groupés. 4 satellites SkySat ont été lancés par PSLV en 2016 et 6 autres par Minotaur en 2017. D'autres lancements sont envisagés par LauncherOne de Virgin Orbit. Le but à terme est de disposer de 24 satellites. Ceux-ci sont fabriqués par Space System Loral.

Terra Bella a été rachetée en février 2017 par Planet.

Spire Global

Spire Global est une société américaine dont le but est de proposer des services météorologiques et maritimes à des entreprises et des clients publics à partir d'une constellation de 50 microsatsellites en orbite basse. Ces satellites captureront les signaux émis par les balises d'identification automatique (AIS) embarquées dans la plupart des navires marchands. Ils seront également dotés de capacité de mesure de radio-occultation des signaux GNSS à des fins de prévision météorologique. Spire prévoit un temps de revisite de moins de 20 minutes de n'importe quel point du globe.

Fin 2016, Spire avait levé environ 71 M\$.

D. SYNTHÈSE CRITIQUE SUR L'INNOVATION ET LA SÉCURITÉ

Aux États-Unis, les trois grands acteurs institutionnels que sont la NASA, le DoD et la FAA sont tous actifs sur le segment des petits satellites et des petits lanceurs à des titres divers.

▶ La NASA

Dans le domaine des petits satellites, l'intérêt de la NASA est relativement récent. Son rôle s'est dans un premier temps limité à proposer des opportunités de lancement au travers de sa « *Cubesat Launch Initiative* », essentiellement au profit d'universités (à ce jour, 46 cubesats ont été lancés par cet intermédiaire et 65 sont en attente). Toutefois, l'Agence a désormais un réel intérêt technique et scientifique pour les possibilités offertes par des cubesats « élaborés », sans que cette demande ne puisse être considérée comme un « *business case* » pour petits lanceurs.

Son programme « *Deep Space Cubesats* »¹⁹⁶ consiste en une utilisation du concept des cubesats dans le cadre de la préparation de ses futures missions au-delà de l'orbite terrestre. L'Agence manifeste ainsi un réel intérêt technique et scientifique pour ce concept qui revient à ne former d'externalisation. Il s'agit de versions « sophistiquées » de cubesats de 6 unités et un lot de 13 d'entre eux est prévu d'être lancé lors du tir inaugural du SLS.¹⁹⁷

Les applications envisagées sont extrêmement diverses et très ambitieuses aux plans scientifique et technologique.

Cinq d'entre elles visent directement à améliorer la connaissance de l'environnement spatial en vue de la préparation de futures missions d'exploration de l'agence :

- ➔ « *Lunar Flashlight*¹⁹⁸ » est une expérience qui vise à rechercher des traces de glace à partir de l'orbite lunaire en éclairant les vallées à l'abri du rayonnement solaire par faisceau laser ;
- ➔ « *Bio-Sentinel*¹⁹⁹ » vise à caractériser les effets du rayonnement cosmique au-delà de la magnétosphère sur l'ADN de levures ;
- ➔ « *Near Earth Asteroid Scout*²⁰⁰ » vise à explorer à coût réduit des destinations potentielles de futures missions en utilisant le concept de voile solaire pour des vols de reconnaissance d'astéroïdes ;
- ➔ « *LunIR* » est une mission orbitale autour de la Lune visant à tester une nouvelle technologie de caméra infrarouge afin de cartographier l'éclairage solaire de la surface lunaire ;
- ➔ « *Lunar IceCube*²⁰¹ » vise à détecter la présence d'eau ou d'autres composés volatils à l'aide d'un spectromètre infrarouge large bande.

D'autres missions ont des finalités purement scientifiques ou technologiques :

- ➔ « *Lunar Polar Hydrogen Mapper*²⁰² » va détecter la présence d'hydrogène dans les cratères lunaires ;

¹⁹⁶ <https://www.nasa.gov/feature/nasa-selects-cubesat-small-sat-mission-concept-studies>

¹⁹⁷ <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-space-launch-system-s-first-flight-to-send-small-sci-tech-satellites-into-space>

¹⁹⁸ https://www.jpl.nasa.gov/cubesat/missions/lunar_flashlight.php

¹⁹⁹ <https://www.nasa.gov/centers/ames/engineering/projects/biosentinel.html>

²⁰⁰ <https://www.nasa.gov/content/nea-scout>

²⁰¹ <https://www.nasa.gov/feature/goddard/lunar-icecube-to-take-on-big-mission-from-small-package>

²⁰² <https://ssed.gsfc.nasa.gov/pcsi/docs/2016/HardgroveLunaHMapCubeSatWorkshopGSFCv3.pdf>

- ➔ « *CuSP*²⁰³ » va étudier les champs magnétiques interplanétaires et les flux de particules liées aux vents solaires ;
- ➔ « *Cis-Lunar Explorers*²⁰⁴ » est constitué d'un couple de deux microsattellites de 3 unités chacun. Leur mission est de tester des systèmes de propulsion à base d'eau, des systèmes de navigation optique, etc. ;
- ➔ « *CU-E3*²⁰⁵ » vise à tester des télécommunications à longue distance en orbite solaire ;
- ➔ « *Team Miles*²⁰⁶ » va tester un nouveau système de propulsion électrique par plasma ;
- ➔ « *EQUULEUS*²⁰⁷ » va mesurer la distribution de plasma autour de la Terre ;
- ➔ « *OMOTENASHI* » est un atterrisseur lunaire visant à établir la faisabilité de l'exploration de la surface lunaire à moindre coût ;
- ➔ « *ArgoMoon* » vise à contrôler le bon déroulement d'opérations en orbite lunaire par surveillance photographique.

La NASA a dès à présent déclaré qu'elle a la ferme intention de poursuivre ces activités dans le cadre des lancements récurrents de son très gros lanceur vers l'orbite lunaire permettant d'atteindre des orbites "exotiques" en dehors de l'orbite basse actuellement privilégiée par ces petits satellites.

Dans ce cadre, l'Agence a également mis en place le programme « NextStep » qui vise à proposer un cofinancement à 50 % du développement des microsattellites dans le cadre de Partenariats Public-Privé attribués sur une base compétitive.

Un des critères majeurs de sélection est le caractère innovant des technologies ou des approches proposées.

Dans le domaine des petits lanceurs, la NASA n'identifie pas de besoins propres spécifiques justifiant une initiative de sa part complémentaire des activités actuellement engagées par les divers acteurs privés. L'Agence se positionne néanmoins résolument afin de soutenir le développement et la qualification d'équipements ou de composants innovants notamment au travers de son initiative technologique « *Tipping Point* » (50 M\$ par an) ou plus largement de son programme SBIR (« *Small Business Innovation and Research* », 200 M\$ par an).

²⁰³ <https://www.nasa.gov/launching-science-and-technology/multimedia/cusp.html>

²⁰⁴ https://www.nasa.gov/directorates/spacetech/centennial_challenges/cubequest/cislunar-explorers

²⁰⁵ https://www.nasa.gov/directorates/spacetech/centennial_challenges/cubequest/CU-E3

²⁰⁶ https://www.nasa.gov/directorates/spacetech/centennial_challenges/cubequest/team_miles

²⁰⁷ <https://www.nasa.gov/exploration/systems/sls/international-partners-provide-cubesats-for-sls-maiden-flight>

En revanche, elle ne contribue en aucune manière au financement du développement des systèmes lanceurs en eux-mêmes.

Dans le cadre de sa « *Cubesat Launch Initiative* », elle a également récemment sélectionné sur appel d'offres 3 fournisseurs pour des services de lancement de cubesats : Virgin Orbit, Rocket Lab et Firefly. Firefly ayant connu des difficultés financières, son contrat a été ultérieurement annulé. Si l'objectif est essentiellement de soutenir des projets éducatifs à base de cubesats, la démarche mise en œuvre en l'occurrence par la NASA est clairement guidée par des objectifs de soutien à la compétitivité de la filière petits lanceurs. Pour ce faire, l'Agence a mis en place un processus d'acquisition spécifique basé sur des paiements échelonnés en fonction des livraisons, mais sans application de pénalité en cas d'échec.

À noter que l'Agence n'interfère en aucune manière dans le développement des systèmes, mais participe à certaines revues en tant que client.

À noter aussi que la NASA souligne le nombre d'étudiants ayant participé à des projets de cubesats finalement recrutés par elle-même ou par l'industrie et considère donc ces activités comme des investissements.

▶ **Le DoD/DARPA**

Dans le domaine des petits satellites, le DoD et la DARPA ont financé nombre de projets, en particulier auprès de multiples centres de recherche ou d'universités.

La plupart de ces projets entrent dans la catégorie des développements exploratoires et sont classifiés. Au-delà de ces programmes de démonstration, les institutions militaires américaines s'intéressent également aux petits satellites d'un point de vue opérationnel, notamment dans la perspective de disposer de systèmes plus répartis et donc davantage résilients aux aléas ou aux agressions. Cette tendance ne devrait pas se démentir dans les prochaines années.

Dans le domaine des petits lanceurs, les intérêts des autorités militaires américaines sont essentiellement liés à des exigences de réactivité opérationnelles (« *Operational Responsive Space* » créé en 2007) pour le lancement ou le remplacement à très faible préavis de satellites en orbite basse. Pour ce faire, il est vraisemblable que le DoD exploite ses stocks de missiles déclassés, qui répondent parfaitement au cahier des charges. Compte-tenu des vives réactions des divers acteurs privés à cette concurrence considérée comme déloyale, ces capacités ne seront probablement pas appelées à être utilisées sur les marchés commerciaux ouverts, mais strictement limitées à des usages stratégiques ou liés à la défense.

Parmi les projets financés par les institutions militaires, on peut citer le programme ALASA (*Airborne Launch Assist Space Access*) de la DARPA avec six contrats mais qui a été interrompu en 2015 ou le programme SALVO (*Small Air Launch Vehicle to Orbit*). Super Strypi est également un projet micro lanceur qui a été financé par l'ORS Office mais qui s'est soldé par un échec en 2015.²⁰⁸

► La FAA

Placée sous l'autorité du « *Secretary of Transportation* », la FAA (« *Federal Aviation Administration* ») joue un rôle clé en matière de régulation du secteur du transport spatial. Elle est particulièrement chargée de délivrer des licences d'exploitation aux divers opérateurs non-gouvernementaux pour toutes les activités de lancement ou de rentrée atmosphérique opérées depuis le territoire national ou par des compagnies ou des ressortissants américains depuis des sites de lancement hors territoire national. Son domaine de compétence s'étend jusqu'à la fin du processus de satellisation (séparation finale). De ce fait, la FAA est l'organe au travers duquel les États-Unis assument leur responsabilité d'État de lancement auprès des opérateurs commerciaux, cette notion ayant également été déclinée dans le cadre de l'exploitation de lanceurs américains depuis des sites de lancement hors territoire national.

À ce titre, elle contribue à la mise en œuvre de la Politique Spatiale Nationale plus particulièrement du point de vue de la sécurité des vols et des opérations de rentrée atmosphérique. Elle n'a en revanche aucune autorité sur les opérations conduites dans l'espace extra-atmosphérique.

Elle agit donc de manière complémentaire à la NASA et au DoD qui assurent une responsabilité pleine et entière de leurs activités respectives.

Il est à noter qu'une orientation politique fondamentale à son action réglementaire est de favoriser dans toute la mesure du possible l'émergence d'un secteur commercial national.

À ce titre, on peut rappeler que les directives en matière de débris spatiaux définies au titre de l'ODMSP (« *Orbital Debris Mitigation Standard Practices* ») ne sont pas applicables au secteur commercial afin de ne pas pénaliser l'industrie nationale face à une concurrence étrangère qui ne se verrait pas imposer un niveau de contrainte équivalent. L'ODMSP est en revanche pleinement applicable aux activités de la NASA et du DoD en matière de risque d'explosion accidentelle ou de collision ainsi que de désorbitation et fin de mission.

²⁰⁸ Clark, Stephen, « Air Force declares failure on Super Strypi test launch », Spaceflight Now, 2015. Web. <https://spaceflightnow.com/2015/11/04/air-force-declares-failure-on-super-strypi-test-launch/>

Un enjeu essentiel pour la FAA est la préparation d'un éventuel système national de gestion du trafic spatial, STM (« *Space Traffic Management* »). Tout laisse à penser que les États-Unis travaillent actuellement à la mise en place d'un tel système, que ne revendiquent ni le DoD, ni la NASA. La FAA s'est montrée jusqu'alors très active dans ce domaine mais aucune décision n'a, à ce jour, été prise par le gouvernement fédéral s'agissant :

- ➔ Du mandat qui pourrait lui être confié ;
- ➔ De l'accès aux données protégées du G-SPOC ;
- ➔ Des perspectives de coordination, coopération internationale ;
- ➔ Des risques de compétition avec le secteur privé.

E. SYNTHÈSE GÉNÉRALE

Tous les acteurs institutionnels interrogés s'accordent à penser que le secteur des petits satellites est appelé à continuer à se développer. Celui-ci est généralement perçu comme étant complémentaire des programmes publics nécessitant un niveau de performance sans compromis. Il n'est aucunement perçu comme un potentiel élément de déstabilisation ou de remise en question des équilibres actuels au plan industriel, en dehors toutefois du domaine des télécommunications spatiales où l'impact des méga-constellations sur le secteur des satellites géostationnaires est anticipé à terme comme potentiellement majeur.

Pour ce qui est des petits lanceurs, les acteurs institutionnels ont été missionnés pour mettre en œuvre tous les moyens disponibles en matière de soutien à la compétitivité et à l'innovation technologique afin de favoriser l'émergence d'une filière.

Toutefois, les développements de ces systèmes n'ont fait l'objet d'aucun financement public direct en dehors de quelques cas spécifiques par le DoD pour des applications stratégiques.

L'objectif derrière cette recherche de neutralité est de ne pas biaiser un marché potentiellement très compétitif, mais également d'encourager les industriels à explorer des voies technologiques innovantes dont ils assument l'entière responsabilité et la pleine propriété intellectuelle.

Si aucune orientation de politique industrielle n'est fixée par la puissance publique, il n'en demeure pas moins que ces initiatives sont clairement perçues comme pouvant contribuer à renforcer la domination de l'industrie américaine sur le secteur en captant à la source une majeure partie d'un marché commercial potentiellement naissant, afin d'éviter que celui-ci n'alimente des investissements étrangers dans un secteur sensible en matière de prolifération.

En revanche, tous les acteurs s'accordent à douter de l'existence d'un marché pérenne et à s'accorder sur l'absence d'un *business case* bien identifié, qui requerra de la part des divers acteurs une grande flexibilité pour s'adapter et agréger une demande très disparate.

Aucun des acteurs interrogés ne semble avoir de vision claire de l'évolution de ce secteur à terme, en dehors du fait que le marché ne sera probablement pas suffisant pour alimenter plus de deux, voire trois fournisseurs tout au plus.

Un dernier point concerne les ports spatiaux qui continuent de générer un grand enthousiasme et font l'objet de multiples soutiens financiers de la part des autorités locales à travers le monde. Le plus grand scepticisme accueille ces multiples initiatives côté américain, connaissant le poids budgétaire que représente la charge de l'exploitation de tels moyens, et les attentes considérées comme déraisonnables en matière de retombées économiques en regard des recettes potentielles estimées.

Annexe 3 FICHE PAYS – EUROPE

A. CONTEXTE GÉNÉRAL DU SPATIAL EUROPÉEN

Analyser la situation actuelle en Europe sur les thématiques des petits lanceurs et petits satellites implique logiquement une distinction entre les directions prises par les politiques spatiales nationales et européennes. À bien des niveaux, les besoins en compétences technologiques de l'UE, de l'ESA et des pays membres peuvent se confondre, toutefois, chaque pays poursuit des objectifs qui lui sont propres.

Au niveau national, une poignée de pays européens, en majorité ceux qui ont des ambitions spatiales depuis plusieurs décennies²⁰⁹, se distinguent par une volonté d'acquérir des compétences nationales en termes de lancement, que ce soit pour des raisons économiques, politiques ou stratégiques. Si on distingue les projets institutionnels des projets commerciaux, il est néanmoins intéressant de demander si les objectifs partagés en termes de rentabilité, d'innovation, et de considérations stratégiques, conduisent les gouvernements à financer ces entreprises de façon indirecte, via les institutions européennes, ou directe, via les institutions nationales. Sur cette question spécifique des lanceurs, l'évolution du marché mondial des services de lancement ces dernières années est un élément important à prendre en compte. Aujourd'hui, la somme de toutes les capacités de lancement, existantes dans le monde ou potentiellement disponibles pour le marché commercial, conduit à conclure à une surcapacité très importante. Cet argument est régulièrement utilisé par les adversaires d'une capacité de lancement propre à l'Europe. Par ailleurs, la situation semble se tendre de plus en plus avec la volonté des grandes nations spatiales d'amortir leurs investissements publics par la commercialisation de lanceurs misant en partie sur une expansion du marché basé sur le phénomène « New Space ». Cette stratégie que l'on retrouve aux États-Unis, en Russie, voire en Chine, se traduit dans les faits par un mouvement de modernisation des flottes de lanceurs désormais de plus en plus conçues pour un positionnement commercial²¹⁰.

Le phénomène « New Space », stimulé par l'innovation ouverte, qui décrit un processus par lequel une entreprise fait appel à des concepts en utilisant des sources d'informations extérieures à sa propre structure, s'est matérialisé dans des pays relativement nouveaux dans le secteur spatial comme la Finlande ou le Luxembourg.²¹¹ Toutefois, en matière

²⁰⁹ Ces pays incluent notamment l'Espagne, la France, l'Italie, la Norvège, le Royaume-Uni ou encore la Suède.

²¹⁰ Voir Xavier Pasco, « La refonte industrielle du secteur européen des lancements spatiaux », *Défense&Industries* n°3, mars 2015, Fondation pour la Recherche Stratégique, <https://www.frstrategie.org/publications/defense-et-industries/la-refonte-industrielle-du-secteur-europeen-des-lancements-spatiaux-3-1>

²¹¹ L'initiative LuxLAUNCH soutient des études préliminaires à hauteur de 100 000 euros par projet et pour six mois. See « LuxLAUNCH ». Web. <http://www.innovation.public.lu/fr/financer/competitivite/esa/luxlaunch/index.html>

d'investissements publics, le Royaume-Uni reste le pays le plus avancé sur la question de la commercialisation des micro-lanceurs. Très compétitifs dans le secteur des petits satellites, particulièrement dans le domaine des nano satellites, les Britanniques cherchent à se doter d'une capacité de lancement adaptée aux petits satellites et cette volonté semble être d'autant plus d'actualité après le Brexit. Dans le secteur privé, le *Seraphim Space Fund*, basé à Londres et créé en 2016, est le seul fonds d'investissement européen entièrement dédié aux PME du secteur spatial avec des apports en capitaux propres venant d'Airbus, Thales, Telespazio. Soutenu par l'ESA et l'UKSA, il a également reçu 35 millions d'euros de la banque d'investissement britannique²¹². Son objectif est d'aider des jeunes PME innovantes à se développer en les finançant. La *UK Spaceflight Bill*, votée en février 2017, cherche à établir un cadre légal adapté à l'exploitation commerciale des micro-lanceurs sur le territoire britannique, notamment en finançant la recherche dédiée aux aspects légaux de ces problématiques nouvelles²¹³. En novembre 2017, le gouvernement a annoncé un plan d'investissement de cinquante millions de livres pour soutenir la création de sites de lancements et de lanceurs, apportant un soutien financier conséquent à ces projets²¹⁴.

Au niveau européen, deux institutions jouent un rôle important dans le soutien apporté à ces entreprises. D'abord, l'ESA qui les finance et leur apporte son expertise dans l'objectif de stimuler l'innovation dans la technologie de lancement. Ainsi, chaque projet qu'elle sélectionne présente un ou plusieurs aspects novateurs dans l'approche choisie par l'entreprise. Par ailleurs, l'élargissement des compétences en politique spatiale de la Commission se manifeste par les efforts menés pour soutenir les petites et moyennes entreprises. Le « SME Instrument » du programme d'investissement Horizon 2020, avec une enveloppe de trois milliards d'euros, soutient financièrement des entreprises innovantes avec des subventions allant de 50 000 euros à 2,5 millions d'euros.²¹⁵ En 2016, 89 millions d'euros ont été attribués aux appels d'offres dans le secteur de l'observation de la Terre et pour mettre en place une politique de compétitivité dans le secteur spatial européen.²¹⁶ Le programme de l'Union Européenne COSME (*Competitiveness for Small and Medium Sized Enterprises*) avec un budget de 2,3 milliards d'euros facilite l'accès des

²¹² [/luxlaunch/index.html](http://luxlaunch/index.html) und to capitalize on UK expertise as it targets new technologies ». The Telegraph. 2016. Web. <http://www.telegraph.co.uk/business/2016/11/21/space-fund-to-capitalise-on-uk-expertise-as-it-targets-new-techn/>

²¹³ See « Draft Spaceflight Bill ». UK Government. 2017. Web. https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/592928/draft-space-flight-bill-web.pdf

²¹⁴ Foust, Jeff, « British government to offer funding for spaceports and launchers ». *Space News*, 2017. Web. <http://spacenews.com/british-government-to-offer-funding-for-spaceports-and-launchers/>

²¹⁵ Voir « The SME Instrument ». Web. <http://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/h2020-section/sme-instrument>

²¹⁶ Voir « Horizon 2020 : 87 millions € pour les appels "Space" 2016 ». NCP Wallonie. 2015. Web. http://www.ncpwallonie.be/fr/news/642_horizon-2020-87-millions-pour-les-appels-space-2016

PME aux financements, et notamment au niveau des institutions de financement locales.²¹⁷ Les fonds structurels et d'investissements européens ont également pour but de promouvoir « la recherche et l'innovation, les technologies numériques [...] les PME ». L'implication financière de la Commission et de l'ESA sur les projets petits lanceurs et petits satellites sera explicitée dans cette fiche d'analyse.

Les projets présentés ci-dessous sont classés par ancienneté, du plus récent au plus ancien.

B. LES PROJETS PETITS LANCEURS EUROPÉENS

► **Italie : Vega L (Avio) – annoncé en 2017**

Un projet de recherche Vega L, modèle réduit du lanceur Vega avec une capacité allant jusqu'à 350 kg en LEO, a été annoncé au Salon du Bourget en juin 2017.²¹⁸ Bien qu'il ne s'agisse que d'études préliminaires, il est intéressant de constater que ce lanceur pourrait compléter la gamme Vega dans les années à venir. Le prix par vol est fixé à douze millions d'euros et chaque vol pourrait être organisé en l'espace de quelques semaines avec une campagne de lancement qui ne durerait qu'une semaine d'après Paolo Bellomi qui gère les projets de développement chez Avio.²¹⁹

► **Europe : *SMall Innovative Launcher for Europe* (Projet UE, coordination: Pays Bas) – 2016**

Le projet SMILE est un consortium européen qui regroupe treize entités publiques et privées, notamment des entreprises et des instituts de recherche, dans huit pays différents. La Commission finance le projet à hauteur de quatre millions d'euros dans le cadre du programme Horizon 2020.²²⁰ Les membres du consortium sont le Centre aérospatial néerlandais (NLR), les norvégiens Nammo Raufoss ASS et le Centre spatial d'Andoya, l'entreprise danoise Terma, l'Institut national pour la recherche en aéronautique roumain (INCAS), les entreprises néerlandaises Airborne Composites Automation, BoesAdvies et Innovative Solutions in Space (ISIS), l'entreprise grecque Heron Engineering, l'entreprise belge 3D Systems, les entreprises espagnoles PLD Space et Tecnalia, et enfin la DLR et l'entreprise allemande WEPA Technologies.

²¹⁷ Voir « COSME », 2016, European Commission. Web. https://ec.europa.eu/growth/smes/cosme_fr

²¹⁸ Dubois, Thierry, « Avio considers Vega L mini Launcher », *Aviation Week*, 2017. Web. <http://aviation-week.com/awinspace/avio-considers-vega-light-mini-launcher>

²¹⁹ Iacopini, Alessandro, « Il future del Vega secondo Avio », *Fly Orbit News*, 2017. Web. <http://www.flyorbitnews.com/2017/07/05/avio-vega-futuro/>

²²⁰ Voir « SMall Innovative Launcher for Europe », 2016, European Commission Website. Web. http://cordis.europa.eu/project/rcn/200829_fr.html

L'objectif de cette initiative est de développer un micro lanceur capable d'envoyer 50 kg en orbite basse en réduisant les coûts de lancement au maximum, qui, selon le site du programme, est conçu pour répondre aux besoins institutionnels de l'Europe et de commercialiser le véhicule sur le marché du lancement. Plusieurs options sont considérées, se distinguant notamment par la nature des ergols et des composants utilisés. L'accent est mis sur le développement des techniques d'impression de métal et la production de l'équipement avionique. L'établissement d'un véritable site de lancement à Andoya est également prévu. Le lanceur est conçu pour éviter les contraintes du régime ITAR. Le prix d'un vol est fixé à 2,5 millions et le lanceur devrait assurer une fréquence de cinquante vols par an.²²¹ Le consortium cherche à développer une structure d'intégration flexible permettant de faire voler plusieurs satellites en même temps. Le consortium prévoit d'effectuer des tests sur les fusées sondes déjà développées par Nammo Raufoss à Andoya. Les premiers résultats des études préliminaires suggèrent un véhicule à trois étages avec des moteurs hybrides ou à ergols liquides. Les premiers tests étaient initialement prévus pour juillet 2017. Le projet a l'originalité de développer une logique commerciale qui se veut ancrée dans la réalité du marché en coopérant avec l'UE, des investisseurs et partenaires potentiels.

► **Royaume-Uni : Lanceur sans nom (*Orbital Express Launch Limited* ou *Orbex*) – Entreprise créée en 2015**

Orbital Express est une startup basée à Londres qui est sortie de l'ombre en juin 2017 en obtenant des financements d'investisseurs privés, notamment le fonds d'investissement allemand High Tech Gründerfonds, et plus notoirement de la Commission Européenne. C'est en effet la seule compagnie micro lanceur à avoir remporté l'Horizon 2020 SME Instrument Award.²²² Leur capacité à lever des fonds rapidement vient du fait qu'ils ont déjà développé leurs moteurs, dont la nature n'est pas encore dévoilée, avant de chercher des investisseurs. Avec des succursales à Munich et Copenhague, l'entreprise vise le développement d'un lanceur avec des composants entièrement européens pour éviter les complications légales liées au régime ITAR. Jean Jacques Dourdain, ancien Directeur de l'ESA, est le Président de leur conseil consultatif.

Le lanceur d'Orbital Express est conçu pour atteindre l'orbite héliosynchrone et les orbites polaires, avec une capacité maximale de 220 kg. La structure des réservoirs à ergols est optimisée de telle façon que la masse sèche de véhicule en est réduite de 30 %, ce qui joue sur la compétitivité du produit et explique le financement de la Commission. Tout l'équipement avionique et GNC ainsi que les moteurs, les logiciels et les

²²¹ Afilipoae, Tudore Petronel, Boiron, Adrien, Haemmerli, Bastien, Kuhn, Markus, Müller, Ilja, Neculaescu, Ana-Maria, Oving, Bertil, Petkov Ivaylo, Petrozzi, Marina, Van Kleef, Arnaud, « SMIll Innovative Launcher for Europe: achievement of the H2020 project SMILE », 2017, European Conference for Aero Space Sciences. Web. <https://www.eucass.eu/doi/EUCASS2017-600.pdf>

²²² voir « Orbex wins Horizon 2020 SME Instrument Grant for Space Launch Vehicle Tanks », 2017, Web. <http://www.orbex.space/orbex-wins-horizon-2020-sme-instrument-grant-for-space-launch-vehicle-tanks/>

structures sont produits par la compagnie et vont bientôt être brevetés.²²³ La technologie d'Orbital Express permet d'envisager des modèles plus larges. L'entreprise a d'ailleurs ouvert une usine de 1 200 m², un site dédié aux tests de moteurs et projette d'ouvrir une deuxième de 2 000 m² en Ecosse d'où ils veulent tirer.²²⁴ La compagnie emploie déjà une cinquantaine de personnes. La particularité de la stratégie d'Orbital Express est que contrairement à la plupart des autres projets micro lanceurs, ils n'ont besoin de lancer que trois fois par an pour être viable d'un point de vue commercial. Cela s'explique par une stratégie d'amortissement R&D élaborée qui leur permet de générer des revenus dès le premier tir, toutefois aucune information n'est disponible sur le prix de leurs services. Aucune date pour leur vol n'est annoncée pour l'instant.

► Europe : Altair (Projet UE, coordination : France) – lancé en 2015

Le projet Altair s'inscrit dans la continuité du projet Eole de l'ONERA et du CNES. Les deux institutions collaborent sur le vol aéroporté depuis une dizaine d'années et Eole a permis des avancées considérables sur le plan technologique tout en formant de nombreuses promotions d'ingénieurs aérospatiaux. L'objectif d'Altair est d'affiner le concept de système aéroporté, capable de placer 50 kg en orbite, développé dans le projet Eole et d'y apporter une dimension commerciale en proposant un *business plan* et une organisation industrielle adaptée.²²⁵ Les partenaires de l'ONERA, en dehors du CNES, sont Bertin Technologies (Allemagne), Piaggio Aerospace (Italie), GTD Systems de Information SA (Espagne), l'Institut fédéral de technologie suisse de Zürich, NAMMO Raufoss AS (Norvège) and SpaceTec Partners (Belgique). Le projet est financé à hauteur de 3,5 millions d'euros par la Commission et 0,5 million par la Suisse.²²⁶

► Norvège : North Star (Nammo Raufoss) – annoncé en 2013

Le micro lanceur North Star fait partie du programme spatial norvégien qui soutient le développement de compétences spatiales aussi bien de lancement (site et véhicule) que de technologie petit satellite. Il permettrait entre autre de répondre aux besoins de la Norvège en matière d'océanographie avec l'objectif d'atteindre les orbites polaires et héliosynchrones. Ce projet a reçu le soutien financier de l'ESA, du Centre spatial norvégien (Norsk Romcenter), du Centre spatial d'Andoya et de la Commission Européenne. North Star sera équipé de moteurs hybrides utilisant des ergols respectueux de l'environnement, ce pourquoi ils ont reçu des subventions de l'ESA dans le cadre du

²²³ Voir <http://www.orbex.space/#vehicle>

²²⁴ Voir « Orbex reveals 1200 m² space rocket factory », Orbex Website. Web <http://www.orbex.space/orbex-reveals-1200m2-space-rocket-factory/>

²²⁵ Voir « L'ONERA prépare l'avenir du lancement européen des petits satellites », 2015, ONERA. Web. https://www.onera.fr/sites/default/files/communiqu%C3%A9_de_presse/files/CP-VF-ALTAIR-021515-vf.pdf

²²⁶ Decourt, Rémy, « Altair, le lanceur spatial européen en projet », Futura Sciences, 2016. Web. <http://www.futura-sciences.com/sciences/actualites/onera-altair-lanceur-spatial-aeroporte-europeen-projet-61084/>

Future Launchers Preparatory Programme.²²⁷ Il est prévu que le lanceur North Star puisse être prêt pour un vol en seulement quelques heures.²²⁸

Le lanceur North Star est censé pouvoir placer un satellite de 10 kg en orbite polaire (650 km) et 20 kg en orbite basse. Le design du lanceur, qui se base sur la technologie fusée sonde Nucleus de la compagnie Nammo Raufoss, est également modulaire. Trois modules peuvent être assemblés pour des performances différentes : Nucleus, Borealis, Aurora. Les pièces sont produites relativement proches du site de lancement, ce qui permet de faire des économies de transport et l'assemblage, l'intégration se passent sur le site d'Andoya directement.²²⁹ Le pas de tir de Svalbard est également considéré comme potentiellement intéressant pour les vols, ce qui évite les problèmes de frontières, et les infrastructures spatiales de Longyearbyen permettraient des missions de contrôle du vol.

Peu d'informations sont disponibles en revanche sur les ambitions commerciales de ce projet, qui semble essentiellement de nature institutionnelle pour l'instant. En 2016, Nammo a testé la technologie permettant au moteur de North Star de se rallumer en vol avec succès. Les premiers tests de North Star sont programmés pour 2019.²³⁰

► Espagne : Arion 2 (PLD Space) – Entreprise créée en 2011

PLD Space est l'une des startups micro lanceur les plus visibles en Europe. Le projet bénéficie du soutien du gouvernement espagnol, de l'ESA et d'investisseurs privés locaux.²³¹ Leur lanceur Arion 2 est censé pouvoir placer 150 kg en orbite basse et 60 kg en orbite héliosynchrone. Il est construit de manière à contourner les restrictions imposées par le régime ITAR et devrait être réutilisable. La compagnie a testé en juin 2017 les moteurs à ergols liquides pour lesquels l'ESA les finance.²³² Leur vol inaugural est prévu pour 2020.

²²⁷ Haemmerli, Bastien, Boiron Adrien J., Verberne, Onno, « The Norwegian Initiative for a Satellite Nano Launcher », 29th Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites, 2015. Web. <http://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=3343&context=smallsat>

²²⁸ See « North Star ». Andoya Space Center Website. Web. – <http://andoyaspace.no/wp-content/files/2013/01/NorthStar.pdf>

²²⁹ Verberne, C.J., « The North Star small launcher & supporting technology developments », First UK Launch Symposium Presentation. Kingston University London. Web. http://sec.kingston.ac.uk/uklaunch/docs/Nammo-presentation_North%20Star.pdf

²³⁰ Krebs, Gunter Dirk, « North Star Family ». Space Gunther Website. Web. http://space.skyrocket.de/doc_lau_fam/north-star.htm

²³¹ See « PLD Space ready to test its new engine », 2017, Web. <http://www.pldspace.com/blog/en/2017/07/10/2562/> PLD Space got support from Spanish and European institutions but also several private investors

²³² Pultarova <http://spacenews.com/spains-launch-startups-make-a-case-for-hosting-a-european-spaceport/>

C. LES PROJETS PETITS SATELLITES EUROPÉENS

► Suisse : Astrocast – lancée en 2014

L'entreprise suisse Astrocast, anciennement ELSE, Astrocast étant alors le nom de leur constellation, a pour projet d'opérer une constellation de 64 cubesats pour le marché de l'Internet des Objets et du *Machine to Machine*. Ils ont levé trois millions de dollars en août 2017, notamment de Airbus Ventures, et bénéficient des subventions du gouvernement suisse et de l'ESA, pour mettre en place leur constellation d'ici 2021.²³³ Les premiers prototypes seront lancés en 2019.

► Royaume-Uni : Earth-i lancé en 2013

La compagnie britannique Earth-i construit une constellation de 15 microsattellites pour faire de l'imagerie et de la vidéo haute résolution (inférieure à un mètre) permettant des modélisations 3D.²³⁴ Il s'agit de la première entreprise européenne proposant un service de vidéo haute résolution, ses compétiteurs directs étant la compagnie canadienne Urthecast et Planet. Earth-i se finance grâce aux revenus générés par leurs autres constellations déjà opérationnelles telles que les constellations KOMPSAT qui sont des satellites SAR opérant en bande Ka ou DMC3 qui sont des satellites optiques. Les premiers satellites devraient être mis en orbite dès 2019.²³⁵

► Finlande : Iceye – lancée en 2012

Iceye est une startup finlandaise qui veut construire une constellation de 40 à 70 cubesats avec un radar à ouverture synthétique pour faire de l'imagerie en temps réel. La compagnie a attiré l'attention d'investisseurs privés, notamment californiens, qui les financent à hauteur de 8,5 millions de dollars. Ils ont levé treize millions de dollars supplémentaires en août 2017.²³⁶ La compagnie a également reçu 4,5 millions de dollars de l'agence finlandaise pour l'innovation (TEKES) et 2,8 millions de dollars via le programme Horizon 2020 de la Commission.²³⁷ Un satellite prototype devrait être lancé sur un vol PSLV en 2017. La stratégie de déploiement initiale d'Iceye est relativement unique dans le monde des startups car la compagnie souhaite utiliser exclusivement des micros lanceurs. La

²³³ Foust, Jeff, « ELSE raises 3 million for internet of things nanosatellite constellation », Space News, 2017. Web. <http://spacenews.com/else-raises-3-million-for-internet-of-things-nanosatellite-constellation/>

²³⁴ Voir « Earth I announces plans Europe's first commercial video satellite constellation », Earth I Website, 2017. Web. <http://earth1.space/press/earth-i-announces-plans-europes-first-commercial-video-satellite-constellation/>

²³⁵ Amos, Jonathan, « Earth-I plans space video network », BBC News, 2017. Web. <http://www.bbc.com/news/science-environment-40088006>

²³⁶ Foust, Jeff, « Iceye raises 13 million for radar microsattellites », Space News, 2017. Web. <http://space-news.com/iceye-raises-13-million-for-radar-microsatellites/>

²³⁷ Henry, Caleb, « Iceeye Prepares Prototype Satellite for 2017 Launch », Via Satellite, 2017. Web. <http://www.satellitetoday.com/technology/2015/12/08/iceeye-prepares-prototype-satellite-for-2017-launch/>

compagnie a réservé 21 vols pour ses premiers satellites à bord des lanceurs de Vector Space Systems.²³⁸ Il est intéressant de remarquer que la compagnie qui a ouvert une succursale aux États-Unis va travailler pour la *Defense Innovation Unit Experimental* (DIUx) du Department of Defense, qui promeut des solutions commerciales pour la sécurité nationale.²³⁹

► Autres projets déposés à l'ITU

D'autres projets de constellations ont été déposés auprès de l'ITU mais la réalité de leurs *business cases* reste encore un mystère.²⁴⁰ Parmi les projets, on compte la constellation McSat de Thales qui comprend de 800 à 4 000 satellites à des altitudes différentes, sur des orbites basses, moyennes et elliptiques sur les bandes Ku et Ka. Le Liechtenstein a également un projet intitulé 3ECOM-I constitué de 264 satellites utilisant les bandes Ku et Ka. Un projet norvégien du nom de ASK-I prévoit une constellation de satellites sur des orbites elliptiques utilisant les bandes X, Ku et Ka. Un autre projet norvégien du nom de STEAM prévoit un réseau de 4 257 satellites. Les moyens de financement privilégiés pour ces projets ne sont pas encore connus.

D. RÉSUMÉ DES LOGIQUES MARQUANTES

On peut donc distinguer deux logiques dominantes dans les projets petits lanceurs/petits satellites. La logique institutionnelle vise à promouvoir le spatial sur le territoire national et permettre aux États de se munir de compétences spatiales propres. Comme le démontre le contrat passé entre le DoD et Iceye, la logique purement commerciale peut s'avérer particulièrement utile aussi aux acteurs institutionnels.

Ces développements récents invitent à se poser les questions suivantes : dans quelle mesure les entités commerciales peuvent répondre efficacement aux besoins des acteurs institutionnels ? À l'instar du contrat passé entre le DoD et Iceye, quelle complémentarité peut-on envisager entre des projets institutionnels comme Copernicus et la constellation d'Iceye et comment les institutions peuvent soutenir plus efficacement les PME qui développent des capacités qui peuvent leur être vraiment utiles ?

En ce qui concerne les consortiums, il serait intéressant de se demander quelles finalités sont à prévoir pour les projets comme SMILE et Altair. Le projet SMILE, par exemple, regroupe deux projets micro lanceurs, celui de Nammo Raufoss (North Star) et de PLD Space (Arion 2), qui *a priori* sont en compétition sur le marché du lancement. Puisqu'ils

²³⁸ Voir http://space.skyrocket.de/doc_sdat/iceye.htm

²³⁹ Werner, Debra, « Finnish startup Iceye to supply DoD with airborne imagery », *Space News*, 2017. Web. <http://spacenews.com/finnish-startup-iceye-to-supply-dod-unit-with-airborne-imagery/>

²⁴⁰ De Selding, Peter, « Signs of a Satellite Internet Gold Rush in Burst of ITU Filings », *Space News*, 2017. Web. <http://spacenews.com/signs-of-satellite-internet-gold-rush/>

travaillent ensemble, peut-on imaginer une stratégie de synergie industrielle entre les deux projets à l'issue du projet SMILE ? Les consortiums européens peuvent être également une bonne occasion de travailler collectivement sur une harmonisation des réglementations nationales, en partenariat avec les institutions européennes, pour la commercialisation des micros lanceurs sur le continent.

Annexe 4 FICHE PAYS – RUSSIE

Cette fiche a été réalisée avec le concours d'Ivan Kosenkov.

A. LE CADRE GÉNÉRAL DES ACTIVITÉS SPATIALES RUSSES : LE POIDS DES ENTREPRISES D'ÉTAT

► Une organisation bureaucratique en lente transformation

Plus de 25 ans après la disparition de l'Union soviétique, le secteur spatial est encore profondément marqué par son héritage politique, bureaucratique et technologique. L'industrie spatiale est ainsi toujours considérée comme "stratégique", même s'il ne s'agit plus seulement de la dimension militaire mais aussi de celle de vecteur d'un développement économique indispensable à la revendication de grande puissance. La restauration en 2006 de la Commission militaro-industrielle VPK (*Voенно-промышленная комиссия*), avec un périmètre qui inclut une dimension économique plus large, a ainsi fait que les entreprises sont naturellement passées sous cette tutelle.

Composé de grandes entreprises qui n'ont jamais cessé d'appartenir à l'État – à l'exception de la plus ancienne Energya – dont le caractère "privé" acquis à la fin de l'URSS a ensuite été fortement réduit au cours de ces 10 dernières années – le monde industriel du spatial vit essentiellement de commandes publiques. L'Agence Roskosmos était tout à la fois un régulateur, un donneur d'ordre et un contractant. Les directeurs des entreprises spatiales²⁴¹ insistaient sur le fait que l'activité spatiale est une affaire de fonds publics. De surcroît, les utilisateurs sont essentiellement des agences publiques ou de grands groupes industriels (Gazprom).

► Un fonctionnement en vase clos du monde industriel

Le mode de fonctionnement du secteur spatial s'est longtemps caractérisé par une imbrication entre l'agence et les entreprises. La première en charge du contrôle des entreprises se devait dans le même temps, de définir un programme spatial plus en fonction de la nécessité de préserver les acquis industriels qu'en fonction des besoins des utilisateurs. Cette attitude a permis de limiter les effets des coupes sombres budgétaires des années 1990 sans modifier de fait l'environnement institutionnel archaïque hérité du

²⁴¹ On peut distinguer 5 grands pôles : l'entreprise Energya, la plus importante, couvrant la gamme complète des compétences, les lanceurs autour du FGUP Khrounitchev, les satellites autour d'ISS Rechetnev, le segment sol autour de Tsenki, la recherche et développement d'instruments (RKP). Le statut du pôle missile, qui concerne partiellement le spatial, est plus ambigu.

passé et en obérant les changements nécessaires sans parler de toute démarche d'innovation.

Dès lors, la question de la compétitivité ne se pose pas de fait puisque la politique nationale russe finance les plus grandes entreprises en leur passant l'ensemble des contrats de R&D. Le Programme Spatial Fédéral conçu en fonction des compétences existantes garde une structure rigide et n'envisage que des évolutions de l'existant. De plus, la concurrence présente entre entreprises pour l'obtention des programmes et des budgets ne favorise pas la circulation des technologies en dehors de leur lieu de conception et de production original. C'est ainsi que des technologies novatrices développées pour la navette Bourane n'ont jamais été diffusées et n'ont donc pu être réutilisées.

De même, dans le domaine des applications, les données des satellites n'avaient pas vocation à servir d'autres utilisateurs que les entités gouvernementales. Ainsi la diffusion des données d'observation n'a jamais été véritablement pensée, la cartographie étant fondamentalement perçue comme relevant de la sécurité nationale. Couplée avec la perte de compétences et la baisse des budgets, l'observation spatiale a été une des premières victimes d'une absence de politique de commercialisation faisant que le premier fournisseur d'imagerie spatiale Scanex a utilisé les données brutes de satellites américains et européens de télédétection.

La lente reconstitution de budget au cours des années 2000 et surtout dans sa deuxième moitié, n'a pas suffi à empêcher une crise systémique du spatial liée à la perte des capacités humaines et technologiques en plus de l'absence de vision programmatique.

L'intégration de la plupart des holdings dès mars 2014 dans la « Corporation unifiée lanceurs-espace » ou ORKK (*Ob'edinennaïa raketno-kosmitcheskaïa korporatsiia*) chargée d'assurer la modernisation industrielle marque une première étape. L'agence spatiale Roskosmos, gestionnaire bureaucratique traditionnel du secteur²⁴², continue alors à garder l'autorité exécutive fédérale et la tutelle de la recherche et des infrastructures sol.

► **La Corporation d'État Roskomos : approche générale et financement des entreprises**

Après maintes hésitations²⁴³, la mise en place en 2015 d'une Corporation d'État (*Goskorporatsion*) également nommée Roskosmos correspond à un nouveau tournant. Cette structure intègre à la fois l'ancienne Agence spatiale Roskosmos – et les entreprises de

²⁴² Créée en 1992 pour permettre l'établissement de relations avec les agences spatiales occidentales, et en particulier la NASA pour la coopération sur le programme de station spatiale internationale, Roskosmos n'a jamais vraiment trouvé sa place face aux entreprises du secteur.

²⁴³ Voir I. Facon, I. Sourbès-Verger, *Enjeux de la modernisation de l'industrie de défense russe. Le cas du secteur spatial : technologie, géopolitique et prospective*, 2015, CSFRS https://www.csfrs.fr/sites/default/files/rapport_final_126_emirs_csfrs_vfinale.pdf.

l'ORKK, l'objectif étant de pérenniser le regroupement de l'ensemble des industries dans une entité commune. L'impression de continuité liée au nom est donc trompeuse, la nouvelle instance de décision ayant un statut hybride, correspondant à une période de transition puisque les entreprises regroupées ne sont plus formellement propriété de l'État, mais sous le contrôle de la Corporation d'État qui est, elle-même, directement subordonnée au président et soumise à la tutelle de la Cour des comptes.

Le but affiché est de permettre une reconstruction en profondeur, et de rompre avec les anciennes féodalités du monde spatial. Le responsable, Igor Komarov, présente d'ailleurs un profil de manager moderne²⁴⁴ et la privatisation des firmes ayant le statut de sociétés par actions est explicitement mentionnée dans les objectifs officiels. Pour autant les réseaux ne sont pas dissous. En témoigne le retour officiel de Youri Koptiev, le premier directeur de l'agence spatiale et un ancien vice-ministre du MoM, le ministère soviétique des Constructions Mécaniques Générales, sur la scène spatiale en tant que Président du conseil scientifique et technique de Roskosmos.

Cette réforme institutionnelle visait aussi à promouvoir un environnement plus favorable à l'innovation et à l'apparition de nouveaux acteurs au travers de partenariats public-privé sans que le problème du maintien de l'existant ne soit d'ailleurs véritablement résolu. Les échecs récents et les difficultés de mise en œuvre de procédures de contrôle qualité montrent que l'idée de compétitivité ne peut suffire dans un secteur encore marqué par son passé.

Des voix d'experts se faisaient entendre depuis quelques années rappelant que l'activité spatiale peut être profitable, une idée relayée au niveau des ministres s'appuyant sur les chiffres de l'industrie occidentale. Cette approche fait aussi partie d'un affichage politique global considérant que la Russie doit se doter des outils modernes de la puissance, dont le spatial fait partie au titre des hautes technologies²⁴⁵. De ce point de vue, le discours sur le « New Space » issu des initiatives américaines, même s'il reste marginal en Russie, tend à réactiver le sujet de la place des entrepreneurs privés dans la sphère spatiale, une idée largement considérée comme exotique.

En fait, si l'idée de développer l'industrie à de nouveaux acteurs fait bien partie des missions de la nouvelle corporation dans le cadre de l'ouverture progressive au privé, cela ne peut se faire sans une approche systématique qui donne à ces nouvelles compagnies le moyen de vivre, faute de quoi elle reste un vœu pieux. L'expérience américaine montre qu'il faut mettre en place des mécanismes soutenant les entrants industriels en favorisant le développement, un investissement attractif, un soutien public et privé au sol avec des équipements adaptés et des personnels qualifiés.

²⁴⁴ Il a dirigé la firme automobile AvtoVAZ et négocié la montée au capital de Renault à 50 % en 2011.

²⁴⁵ I. Sourbès-Vergier, 2017, « La Russie à la reconquête de sa puissance spatiale » in *L'ambivalence de la puissance russe*, sous la direction d'Isabelle Facon et Céline Marangé, RDN, été 2017, n°82, pp. 90-109.

Il faut donc développer un écosystème de compagnies privées interagissant les unes avec les autres, développant des produits compétitifs dans la chaîne de valeur des marchés spatiaux allant des composants aux sous-systèmes pour les satellites, aux plates-formes logicielles utilisant les données spatiales comme services à valeur ajoutée pour les utilisateurs finaux. De plus, le nombre d'acteurs de cet écosystème doit atteindre une masse critique suffisante pour avoir un impact significatif sur le secteur spatial national et donc augmenter la part de la Russie dans le marché international, des conditions encore loin d'être réalisées même si l'on note des efforts avec la commercialisation par Glavkosmos d'opportunités de tirs pour des petits satellites et l'action spécifique de la Fondation Skolkovo en charge de l'innovation.

B. L'ADAPTATION DES ACTEURS TRADITIONNELS COMME GLAVKOSMOS

Créé par Gorbachev en 1985 au sein du Ministère des Constructions Mécaniques Générales pour gérer les contrats spatiaux internationaux, Glavkosmos a été bien connue du monde occidental à l'occasion de la vente de moteurs cryogéniques à l'Inde. Son statut a évolué au fil du temps comme société sous tutelle du Ministère de la Défense en 1996 pour devenir en 2001 une entreprise fédérale d'État puis en 2012 une compagnie avant d'être intégrée en 2017 comme filiale de la Corporation d'État Roskosmos en charge, entre autres, de la commercialisation internationale des lanceurs Soyouz 2²⁴⁶.

Il faut noter que Glavkosmos tient une place non négligeable aujourd'hui dans le domaine des petits lanceurs. Elle s'est d'abord spécialisée dans la proposition de *piggyback* pour les petits satellites dans le cadre des opportunités de tir de Soyouz-Fregat. C'est ainsi que ce dernier étage Fregat, fabriqué par la société Lavotchkine, a mis en orbite plusieurs charges utiles comme les 72 petits satellites lancés le 14 juillet 2017 à l'occasion de la mise sur orbite du satellite d'observation de la Terre Kanopus V-IK depuis Baïkonour. Son action s'est renforcée au travers de la création avec la société Kosmotras de l'opérateur GK Launch Services²⁴⁷. À ce titre, elle envisage le retour du lanceur Dniepr LV (missile RS-20 reconverti) sur le marché commercial et affirme sa volonté de leadership pour des lancements de petits satellites.

C. UNE VOLONTÉ POLITIQUE DE SOUTIEN À L'INNOVATION : LE RÔLE DE SKOLKOVO

La notion d'acteur privé est encore à construire dans le secteur spatial russe mais un effort gouvernemental destiné à favoriser l'industrie spatiale privée a vu le jour en 2010 au travers de la Fondation Skolkovo dans la banlieue de Moscou²⁴⁸. Son objectif était la

²⁴⁶ Elle assure aussi la commercialisation officielle des satellites d'observation <http://glavkosmos.com/history/>

²⁴⁷ <http://www.gklaunch.ru/index-en.html>

²⁴⁸ Skolkovo est censé s'inspirer du modèle de la Silicon Valley...

mise en place d'un écosystème durable d'entrepreneuriat et d'innovation engendrant une culture de startup et encourageant le capital-risque.

La caractéristique de Skolkovo est donc de se focaliser sur le soutien aux compagnies via le développement de technologies plutôt que de recherche pure. La Fondation n'intervient pas dans le type particulier de recherche à conduire, mais évalue sa cohérence en termes de prospective technologique. Son originalité est d'être la seule institution russe dont la mission est le soutien au business spatial privé de petite taille.

Afin de favoriser l'écosystème nécessaire, Skolkovo propose des conditions particulières telles des baisses de taxes, l'accès à de l'investissement risqué, aux technologies industrielles existantes et à des subventions aux entreprises développant des produits innovants dans les domaines des applications satellitaires dont la navigation et l'observation de la Terre, les technologies pour les petits satellites, les systèmes satellitaires, les sous-systèmes et les composants, l'infrastructure sol, la fabrication et production industrielle, les nouveaux matériaux, les systèmes de lancement orbitaux et suborbitaux.

Le cluster spatial se veut un élément attractif qui fournit aussi un lieu de dialogue entre acteurs publics et privés. Il joue ainsi un rôle d'intermédiaire avec la Corporation d'État Roskosmos et les entreprises qui la composent. En particulier, il est impliqué dans les négociations pour de petites ou moyennes entreprises sur les licences produites par Roskosmos.

De plus des entreprises majeures de l'industrie spatiale comme la NPO ENergomach (moteur) et la Société Retchnev (satellites de télécommunications) ont fondé des sociétés dérivées dans le cadre du cluster consacrées à des activités de R&D. L'obtention par le cluster spatial d'un accès à l'expertise industrielle pour l'évaluation de projets en coopération avec Roskosmos a permis de renforcer la position de celui-ci comme centre indépendant de compétence, un atout pour jouer un rôle dans la mise en place d'une politique spatiale prenant en compte le partenariat public-privé.

L'objectif de Skolkovo est de créer des startups ouvertes au marché international, en renforçant le rôle de la demande et en soutenant une logique de capital risque dans un secteur très conservateur. Le défi est que la plupart des entrepreneurs russes essayant de créer des compagnies privées concentrent leurs efforts sur la technologie et non sur les besoins du marché.

De ce point de vue, le cluster s'intéresse à la mise en place de relations étroites avec les parcs technologiques et scientifiques étrangers, abritant des startups étrangères leur permettant de s'installer dans un environnement plus protégé en leur assurant des subventions et un accès plus facile aux marchés russe avec l'objectif de favoriser des joint-ventures. À ce jour, toutefois, ces efforts n'ont pas été couronnés de véritables succès, les pesanteurs bureaucratiques restant lourdes.

Enfin, le cluster envisage l'implication d'acteurs majeurs du monde aérospatial dans l'écosystème comme partenaires clefs avec la possibilité d'installer des centres de recherche à Skolkovo. Le partenariat avec Airbus et Boeing installant des activités de R&D à Skolkovo vise à donner une dimension internationale au cluster. L'ambition est de favoriser la rencontre avec les startups locales et encourager ainsi des investissements stratégiques éventuels.

Actuellement, Skolkovo représente un écosystème de plus de 100 sociétés impliquées dans différents domaines technologiques liés aux activités spatiales, du développement de lanceurs et satellites à de nouvelles applications et produits exploitant des données spatiales que le cluster tente d'aider à trouver des financements, des partenaires et des clients sur le marché international²⁴⁹.

D. LES PROJETS DE PETITS SATELLITES RUSSES – UNE OCCASION DE DÉVELOPPEMENT D'UNE AUTRE INDUSTRIE SPATIALE

► **Dauria Aerospace**

La plus connue des startups russes est Dauria Aerospace qui conçoit et produit à bas prix de petits satellites. Elle a été créée en 2011 et est dirigée par Mikhail Kokoritch. Depuis le début, l'équipe a voulu construire une compagnie internationale avec des bureaux à Munich et dans la Silicon Valley. Cette approche suppose un large usage de composants étrangers avec l'intention de construire une compagnie intégrée verticalement et réalisant ses bénéfices plutôt sur la distribution des données spatiales que sur la vente de satellites.

Ce projet s'est heurté à partir de 2014 à la mise en œuvre des sanctions occidentales liées à l'affaire ukrainienne rendant l'investissement étranger dans une compagnie spatiale russe quasi impossible.

M. Kokoritch a alors entrepris de fonder d'autres startups dont AstroDigital dans la Silicon Valley, aussi verticalement intégrée et qui développe une plate-forme permettant un accès rapide et facile à l'imagerie spatiale. AstroDigital a ainsi obtenu en mars 2017 un financement de 16 millions de dollars de la part de VC liée à la Russie pour construire sa propre constellation d'imagerie haute résolution. Elle a ainsi marqué un record pour une société spatiale russe privée en attirant un financement privé de près de 20 millions pour concevoir, construire et lancer sa flotte de satellites.

Le premier satellite Dauria DX-1 d'une masse de 27 kg et d'une taille de 4 cm x 40 cm x 30 cm a été développé comme satellite expérimental pour tester l'équipement, la technologie et le software afin de mettre au point une plate-forme standard de petit satellite.

²⁴⁹ <http://sk.ru/foundation/about/p/clusters.aspx>

Ce premier satellite emporte un récepteur AIS (*Automatic Identification System*) pour le suivi du trafic maritime.

Cette plate-forme devait permettre à la société de créer une nouvelle génération de satellites destinés à différentes missions avec un travail minimal pour les fonctions spécifiques. Cependant dans la mesure où le dernier satellite Dauria est différent de DX-I, il est difficile d'apprécier quelle est l'influence de l'architecture initiale.

En 2014, la société a construit en Russie DX-I, ainsi qu'aux États-Unis 2 satellites Perseus-M, lancés par Dniepr. Ces satellites de surveillance maritime fournissent une identification automatique des navires et servent de bancs d'essais pour les plates-formes futures.

Dauria a aussi été la première compagnie privée à gagner un appel d'offres de Roskosmos de 310 millions de roubles en 2012 pour la fourniture de deux satellites d'observation de la Terre MKA-N. Les satellites MKA sont de cubesats standard de 6 unités avec un système d'imagerie multispectral d'une résolution de 22 mètres par pixel. Ils sont très proches des satellites commerciaux Perseus développés par Dauria. Cette expérience entamée par Popovkine, alors responsable de l'Agence spatiale Roskomos comme soutien à un partenariat public privé, a donné lieu à un échec lors du lancement en 2017 des satellites comme *piggybacks* du satellite Kanopus V-IK. Les causes de l'échec sont encore en cours d'investigation. De toute façon, cette expérience a été négative quant aux efforts immédiats de transferts de financements étatiques au secteur privé spatial. Il reste à voir quel en sera l'impact sur le plus long terme.

Les futurs projets de Dauria incluent un satellite d'observation optique à haute résolution Auriga composé de 16 cubesats pour une résolution panchro de 3 m et 6 m en multispectral. Le montant de l'investissement est d'environ 370 millions de roubles. La répartition des fonds est instructive : 150 millions de la fondation Skolkovo, 60 millions de VEB innovations, le reste de fonds propres. *A priori*, le lancement du premier satellite Auriga doit ouvrir la voie à plus de 10 autres satellites fournissant une surveillance fréquente de la végétation pour de l'agriculture de précision, le contrôle de la circulation, l'aménagement des zones urbaines dynamiques. Pour réaliser ce projet, il faudra à Dauria la capacité d'attirer de nouveaux investissements à la hauteur du business envisagé.

Par ailleurs, Dauria pourrait participer aussi à l'initiative luxembourgeoise de ressources minières extra-terrestres en postulant pour une partie des 200 millions de dollars offerts par le Luxembourg pour nourrir ce nouveau domaine d'activité.

Enfin, Dauria ne limite pas ses projets aux petits satellites *stricto sensu* puisque son dernier projet est la plate-forme Atom de satellite léger tout électrique de télécom géostationnaire (300 kg de charge utile, masse totale d'une tonne). Le client pour deux exemplaires test NEXSTAR-1 et 2 est la société indienne Anira Communications.

Spacecraft	Nº of satellites	Date of launch	Purpose	Characteristics
DX-1	1	08.07.2014	Technology/AIS	Mass – 27 kg, Lifetime – 3years, Price – \$3-4 Mio
Perseus-M	2	20.06.2014	Technology/AIS	6U Cubesat, Lifetime – 1 year Price – \$2-3 Mio
Perseus-O	8	cancelled	Earth Observation	6U Cubesat, 22m multispectral camera
MKA-N	2	14.07.2017	Earth Observation	6U Cubesat, 22m multispectral camera, Lifetime – 5 years, Mass – 11 kg, Price – RUB 150 Mio (\$2,5 Mio)
Auriga	Over 10	planned	Earth Observation	16U Cubesat, 3m panchromatic, 6m multispectral imager, Lifetime – 5 years, Price -RUB 320 Mio (\$5,2 Mio)
Atom	N/A	planned	Universal light and medium spacecraft platform	Gazprom telecom satellite – Ka, Q и V transponders – 24 beams, throughput over 39 Gbps, lifetime over 15 years

Source : contribution Ivan Kosenkov

▶ SPUTNIX

SPUTNIX est l'autre startup russe se consacrant au développement et à la fourniture de petits satellites. Depuis le tout début, leur approche se caractérise par une conception et une production indépendantes des composants et systèmes avec un recours minimal à des éléments étrangers.

L'architecture de la plupart de leurs systèmes est héritée de projets antérieurs. Ainsi le système de contrôle d'attitude (ACS) est une version améliorée du système embarqué du petit satellite scientifique Chibis-M. Le business modèle de SPUTNIX repose sur la conception, la construction et le test des matériels. La société a ainsi fourni avec succès de nombreux composants et systèmes sur le marché étranger des pays en voie de développement désireux de se doter de capacités spatiales : le Pakistan, le Kazakhstan, le Myanmar.

Le 20 juin 2014, SPUTNIX a lancé son microsatellite TabletSat-Aurora, le premier satellite privé construit et lancé en Russie. La nouveauté du projet était l'application de la philosophie (idéologie) LEGO. Les sous-systèmes étaient connectés au bus par une interface de type "plug and play". Tous les systèmes de services de la plate-forme disposent d'une interface commune permettant de construire les satellites à partir de blocs standardisés. L'objectif était de faire de TabletSat-Aurora une plate-forme universelle pour les différentes charges utiles. La compagnie prévoit de lancer une constellation de plusieurs petits satellites fournissant une imagerie de haute résolution à 1 m. Cependant, à ce jour, TabletSat-Aurora reste le seul exemplaire construit et lancé par SPUTNIX. La

nouvelle génération de cette architecture est en voie de développement mais ses caractéristiques ne sont pas encore connues avec précision.

La plus grande part des profits actuels de SPUTNIX provient des équipements de test pour les satellites construits par les étudiants dans leurs laboratoires : aérodynamique et simulateurs d'environnement, équipement sol, station de réception et contrôle... Le produit le plus populaire de SPUTNIX est le kit de simulation de satellite Orbicraft pour les établissements d'enseignement. SPUTNIX a collaboré avec World Skills Russia pour fournir des kits éducatifs pour des systèmes d'ingéniering spatial pour la compétition. Le même kit accompagné de simulateurs d'environnement a aussi été fourni à un réseau de centres d'éducation au travers de la Russie.

La prochaine étape que la société s'est fixée est de développer, construire et tester des plates-formes de cubesats à moindre coût pour les universités russes. Les prototypes actuels sont constitués de 1 et 3 unités et visent un des segments les plus populaires du marché des petits satellites.

Enfin SPUTNIX conduit différentes recherches technologiques avancées comme par exemple l'association avec l'entreprise d'impression 3D Anisoprint pour la mise au point d'une imprimante 3D capable de fabriquer des petites structures de satellites à partir de fibres composites directement dans l'espace. Cette initiative en est à ses débuts et les deux sociétés ont soumis une proposition détaillée à Roskosmos.

Spacecraft	No of satellites	Date of launch	Purpose	Characteristics
Tabletsat –Aurora	1	19.06.2014	Technology/Earth Observation	Mass – 25 kg., Lifetime – less than one week – failure on orbit, Price – \$1 Mio
OrbiCraft-Pro	N/A	planned	Education	1U/3U cubesat platform for universities, Price – about \$50K

Source: contribution Ivan Kosenkov

► Un autre modèle, celui de fabricant de composants comme Azmerit

Le modèle commercial le plus viable potentiellement pour les compagnies russes privées du spatial est de s'intégrer dans la chaîne de valeur des grosses compagnies industrielles publiques. S'il est difficile dans l'environnement spatial russe de concevoir un modèle s'appuyant sur une entreprise commune, le modèle de partenariat stratégique dans lequel la startup peut faciliter l'accès à un marché possible et à des financements en sus des capacités du leader industriel ("*smart money*") peut avoir sa place.

C'est pourquoi plusieurs petites compagnies innovantes cherchent à entrer dans la chaîne de valeur des entreprises de Roskosmos en fournissant des composants et des systèmes à l'industrie spatiale. Les domaines d'application sont variés de la propulsion électrique (AvatnSpace Systems) aux robots (Space Move) en passant par les systèmes de refroidissement passifs (Thercon-LHP). Le succès de ces efforts dépend largement de l'attitude des grandes entreprises de l'industrie spatiale. Ainsi Russian Space Systems, par exemple, semble intéressé par une approche intégrant des innovations ouvertes en acquérant des sociétés qui développent des systèmes pouvant lui être potentiellement bénéfiques grâce à la fourniture de matériels dédiés.

Le cas d'Azmérit développant de petits viseurs d'étoile est un exemple de modèle de développement d'initiative privée limitée mis en place à partir d'une subvention de Skolkovo avec l'objectif d'un niveau technologique assez mature pour intéresser les acteurs classiques du spatial. D'autres entités pourraient suivre la même voie afin de trouver une place dans le tissu industriel de la Corporation d'État Roskosmos.

E. LES PROJETS DE PETITS LANCEURS RUSSES, LES TURBULENCES DE L'ENVIRONNEMENT INSTITUTIONNEL

Après plusieurs années d'existence d'un écosystème spatial privé, on assiste à l'émergence de compagnies proposant des solutions pour un accès à moindre coût à l'espace. Les sociétés développant ces moyens s'intéressent à deux marchés principaux : des lanceurs offrant des coûts accessibles pour la mise en orbite des petits satellites et des véhicules suborbitaux pour le tourisme spatial.

▶ **LIN Industrial**

Il existe plusieurs tentatives pour concevoir, construire et lancer de petits lanceurs en Russie. La plus connue est Lin Industrial consacré au développement du véhicule ultra léger Taymyr. L'investissement initial de 10 millions de roubles a été fourni par le cofondateur de la société de développement du jeu Wargaming, Serguei Bourkatovsky. Cinq millions de roubles supplémentaires ont été fournis par la Fondation Skolkovo sous forme non dilutive²⁵⁰. Le premier moteur a été développé en 2015-2016 mais a explosé lors des essais entraînant des dommages collatéraux du fait de mesures de sécurité non respectées. La société développait aussi en parallèle le système de contrôle d'attitude et les réservoirs en composite. L'accident a entraîné une période d'incertitude qui dure toujours. La société continue à chercher des investisseurs après avoir revu significativement la conception du projet. Le nouveau lanceur Taymyr qui vise à lancer 100 kg en LEO doit être achevé en 2023 pour un coût total estimé à 13 millions de dollars. Le coût d'un lancement est évalué à 4,5 millions de dollars. La question du financement reste

²⁵⁰ N'entraînant pas de conséquences sur la structure du capital.

ouverte et la compagnie ne semble toujours pas capable de mobiliser un niveau suffisant de fonds pour des développements du véhicule.

Launch vehicle	Status	Launch site	Characteristics
Taymyr (Lin Industrial)	Design phase, completed tests of several critical components. Most part of work ahead	Kapustin Yar (probably)	Price per launch: \$4,5 Mio? Mass to LEO – 100 kg, Project cost: \$150 Mio, Project cost – €13 Mio. First launch: 2022

Source: Ivan Kosenkov

► **NSTR Rocket Technologies**

L'autre tentative de développement d'un lanceur ultra léger a été entreprise par NSTR Rocket Technologies. C'est la première compagnie privée russe à avoir testé un moteur utilisant un ergol liquide à la fin de 2016. Il s'agissait de protoxyde d'azote et de kérosène pour une poussée de 100 kg. Ce prototype a été conçu pour répondre au projet de lanceur ERRAI capable de lancer 10 kg en LEO.

Au départ, la société va fabriquer des fusées sondes emportant 3 kg d'équipement scientifique à 100 km d'altitude. Elle a ainsi signé un accord avec la région de Voronev pour construire la première usine privée à partir de 2018. Il semble que la société ait trouvé un investisseur capable de lui permettre de commencer les premières étapes du développement d'un lanceur mais aucune information n'est disponible sur le produit futur.²⁵¹

Launch vehicle	Status	Launch site	Characteristics
ERRAI (NSTR Rocket Technologies)	Design phase, engine prototype tested	N/A	1. Sounding rocket – 3kg payload to 100 km altitude (suborbital) 2. Launch Vehicle – 10 kg to LEO

Source: Ivan Kosenkov

Le trait marquant est que les programmes de petits lanceurs en Russie sont confrontés à de multiples défis : les risques technologiques, le soutien inexistant de la part des grosses industries spatiales, l'absence de financement et le caractère incertain de l'environnement réglementaire. À ce stade, leur survie dans un environnement aussi hostile en est presque étonnante.

²⁵¹ De ce fait il n'apparaît pas pour l'instant dans la base de documentation petits lanceurs.

A. CONTEXTE GÉNÉRAL DU SPATIAL NATIONAL

► Les réalisations spatiales, symbole de l'affirmation de la Chine dès le début de l'ère spatiale

Dès 1956, le Président Mao annonçait officiellement – un an avant le lancement de Spoutnik – sa volonté de voir la Chine retrouver son image de grande puissance. La présence d'un satellite chinois dans ce nouveau milieu était présentée comme le moyen incontournable de prouver que la Chine serait présente dans cette nouvelle ère, effaçant du même coup la période d'humiliation coloniale²⁵². Dans la continuité du modèle soviétique d'alors, le spatial chinois s'inscrit dès son origine dans une dimension stratégique, la priorité étant donnée au développement de missiles intercontinentaux comme garant de la sécurité nationale en parallèle du développement de l'arme nucléaire. Le retard technologique et économique du pays implique une ambition spatiale en deux temps, la maîtrise de l'accès à l'espace en capitalisant sur les prochaines compétences missile et la réalisation de satellites.

La rupture avec l'Union soviétique et le déclenchement de la Révolution culturelle marquent l'intégration progressive des compétences spatiales au sein de l'Armée Populaire de Libération afin de protéger les équipes des critiques par les Gardes rouges des intellectuels au prix d'une minoration de la dimension scientifique. Le lancement d'un satellite est même déclaré cause prioritaire pour la sécurité du pays.

Deux mois après le satellite japonais Ohsumi, le premier satellite chinois Dong Fang Hong-I est mis sur orbite en avril 1970, faisant de la Chine la 5^{ème} puissance spatiale. Il est doté d'un émetteur diffusant l'hymne national « l'Orient est rouge » et impose l'image d'une Chine triomphante alors même qu'elle est totalement isolée sur la scène internationale et que la Révolution culturelle bat son plein.

Ce n'est qu'en 1985, avec l'arrivée au pouvoir de Deng Xiaoping, que le secteur se voit confier une tâche plus large. Il s'agit dès lors de promouvoir les applications destinées à contribuer au développement économique national²⁵³ et de s'ouvrir aux coopérations,

²⁵² Pour une présentation des enjeux de l'espace dans la politique chinoise voir *La Chine et l'espace*, I. Sourbès-Verger, *Les industries de l'espace, Réalités industrielles*, mai 2012, pp. 92-102, et *La Chine, un empire très céleste*, I. Sourbès-Verger, D. Borel, Dunod, 2008.

²⁵³ Le spatial figure ainsi en deuxième position dans le programme 863 fixant le cadre du développement technologique à des fins de développement.

la Chine allant jusqu'à proposer ses services sur le marché international des lancements en 1986. Trois ans plus tard, la répression des manifestations de la place Tienanmen marque la fin de cette première phase de réintégration de la Chine dans la communauté internationale.

La politique de rattrapage des compétences et de volonté de reconnaissance comme membre à part entière du "club spatial" se poursuit à nouveau dans un isolement relatif. Les vols habités vont alors être décidés pour leur valeur hautement symbolique puisqu'il s'agit d'apparaître comme la troisième puissance spatiale. Cette décision politique est aussi un effet d'opportunité. En profitant des difficultés dramatiques de financement que le secteur spatial russe connaît depuis le début des années 1990, la Chine acquiert à moindre coût à partir de 1992, les technologies de base de son programme habité, le premier vol n'ayant lieu qu'en 2003 soit après 10 ans d'indigénisation.

Outre la coopération avec la Russie, une constante qui renvoie à un intérêt mutuel bien compris, la Chine cherche dans le même temps à renforcer ses liens avec le monde occidental et entame des relations industrielles avec les États-Unis dans le cadre de l'*engagement* voulu par le Président Clinton mais dénoncé par les Républicains. En 1998, ceux-ci obtiennent gain de cause, le Sénat interdisant à la suite du rapport Cox²⁵⁴ toute coopération avec la Chine au titre de la sécurité nationale l'excluant de fait de tout transfert de technologies direct ou indirect.

Depuis 2000, la Chine se retrouve à nouveau pénalisée par les règles ITAR²⁵⁵, si bien qu'elle a progressivement et systématiquement développé une totale autonomie dans tous les domaines, y compris celui des armes antisatellites²⁵⁶. Le premier Livre blanc sur l'espace paru en 2000 mettait en avant le développement des services, une priorité également présente dans ceux de 2006, de 2011 et de 2016. Il s'agit explicitement d'assurer le développement d'une "société harmonieuse" pour "une montée en puissance pacifique" selon les mots d'ordre du pouvoir et de soutenir aujourd'hui le "rêve chinois" alors que la Chine se pense comme la première puissance économique mondiale en 2050.

Depuis l'arrivée au pouvoir de Xi Jinping, la demande intérieure s'affirme, la Chine effectuant un nombre de tirs comparable à celui des États-Unis. L'évaluation par rapport aux

²⁵⁴ Report of the Select Committee on U.S. National Security and Military Commercial Concerns with the People's Republic of China, approuvé à l'issue des travaux de la Commission spécialement créée en juin 1998 et présidée par le Républicain Chris Cox.

²⁵⁵ *International Traffic in Arms Regulations*.

²⁵⁶ Un test ASAT a été effectué avec succès en janvier 2007 suscitant la réprobation de la communauté spatiale internationale du fait du très grand nombre de débris ainsi générés.

standards internationaux de ses compétences actuelles et de ses ambitions – en particulier militaires – reste discutée parmi les experts²⁵⁷ mais les progrès réalisés sont incontestables. La construction d'une station, les missions lunaires, l'étude de faisabilité d'une mission habitée sont mises en avant pour illustrer l'affirmation croissante de la Chine qui passe par le développement de capacités technologiques tous azimuts. De fait, le niveau de compétence par rapport aux États-Unis reste le point clef de l'appréciation des compétences chinoises, le pays affichant sa volonté d'être présent sur tous les nouveaux segments tout en reposant sur un modèle de fonctionnement atypique.

► **L'organisation du secteur spatial : la place singulière des instances militaires et l'approche de la dualité**

Souvent évoqué, le volet militaire des activités spatiales mérite une attention particulière, ne serait-ce que du fait de sa spécificité comparée aux modes habituels d'organisation. Après s'être doté d'une forte composante commerciale à la suite des orientations fixées par Deng Xiaoping en 1980, le complexe militaro-commercial-industriel chinois connaît à partir de 1988 une restructuration progressive renforçant le pouvoir direct de l'État sur les entreprises d'État dont celles du spatial. L'efficacité de cette réforme passe par la capacité du gouvernement chinois à fournir directement des ressources financières à l'Armée populaire de Libération (APL) pour qu'elle puisse remplir sa mission.

Dans le domaine spatial, la CNSA – un bureau administratif créé en 1993 pour faciliter les coopérations internationales entre agences spatiales – a un rôle relativement ponctuel et de nature informelle ou technique, la CMC étant le lieu réel de décision. La reprise en mains en 1998 de l'appareil de production de l'APL se traduit par la redéfinition du rôle de la COSTIND qui est directement en charge des entreprises de l'APL et la création du Département de l'Équipement Général (GED parfois aussi appelé DGA en français) qui devient responsable des contrats d'équipements purement militaires²⁵⁸, l'arbitrage des ressources se faisant au plus haut niveau²⁵⁹.

Avec la spécialisation croissante des cadres militaires et la modernisation des forces, le potentiel du spatial militaire commence à susciter l'intérêt de l'état-major, même si le

²⁵⁷ Alain De Neve, « Les programmes spatiaux russes et chinois : ambitions politiques, contraintes institutionnelles et dimension technologique », 2014 <http://www.irsd.be/website/index.php/productions/securite-et-strategie/22-francais/etudes-fr/1038-vs117>

²⁵⁸ Le GED a la responsabilité de l'ensemble des programmes d'armement, et donc des systèmes spatiaux militaires, la gestion des bases et le contrôle des moyens de lancement restant sous le contrôle direct et naturel des instances de l'APL.

²⁵⁹ Pour une présentation des enjeux de l'espace dans la politique chinoise voir *La Chine et l'espace*, I. Sourbès-Verger, *Les industries de l'espace, Réalités industrielles*, mai 2012, pp. 92-102, et *La Chine, un empire très céleste*, I. Sourbès-Verger, D. Borel, Dunod, 2008.

niveau de compétence encore limité de l'industrie nationale et la nécessité de forts investissements en recherche et développement pour des moyens spatiaux plus performants ont limité le soutien financier.

Cette volonté d'optimisation passe par une volonté de dualité de façon à démultiplier l'efficacité des capacités chinoises, une ambition que l'on trouvait déjà chez Deng Xiaoping, qui est reprise dans le concept de « Développement Pacifique » porté par le Président Hu Jintao. La réorganisation administrative de 2008 se traduit par la création de cinq super ministères et la disparition de la COSTIND en tant que Commission d'État. La réapparition au sein d'un de ces nouveaux grands ministères, celui de l'Industrie et de l'Information, d'un simple bureau chargé des missions précédemment assurées par la COSTIND confirme la fin de son rôle en tant qu'entité clef de l'organisation des industries de Défense. Sont ainsi désormais formalisés deux volets de l'activité spatiale, l'un dépendant du Ministère de l'Industrie et de l'Information et l'autre de l'APL.

Le renforcement du pouvoir de Xi Jinping et du Parti marque un souci de développement accru de l'économie chinoise symbolisée par la "Nouvelle route de la Soie" (OBOR²⁶⁰) et la recherche d'une « sécurité nationale aux caractéristiques chinoises ». Celle-ci – qui ne compte pas moins de 11 dimensions²⁶¹ – s'inscrit dans le cadre d'une réforme de l'APL réalisée en deux temps (2013 et 2015) et d'un affichage d'une doctrine (9^{ème} Livre Blanc sur la Défense publié en mai 2015) dans lequel l'espace devient un « domaine incontournable de la compétition stratégique internationale »²⁶². Une 4^{ème} Armée celle des Lanceurs (en charge de l'arsenal balistique) s'ajoute à l'Armée de Terre, la Marine, l'Armée de l'Air et la Force de soutien stratégique.

Ainsi, les activités spatiales se trouvent au confluent d'une demande gouvernementale en expansion destinée à soutenir la croissance économique et à renforcer le caractère interarmées des opérations, dont le Président Xi Jinping a pris la tête du Centre de Commandement. En parallèle, la mise en place officielle au 19^{ème} Congrès du Parti de novembre 2017 d'une politique d'intégration civilo-militaire ouvre la voie à une participation de compagnies privées dans le secteur de la défense afin de faciliter l'innovation tout en diminuant les risques de duplication des efforts.

²⁶⁰ *One Belt One Road*, une ceinture, une route pour désigner la voie maritime et la voie terrestre.

²⁶¹ Elle comprend la sécurité politique, du territoire, militaire, économique, culturelle, sociétale, scientifique et technologique, écologique, des ressources et nucléaire.

²⁶² Antoine Bondaz, Marc Julienne, « Moderniser et discipliner, la réforme de l'armée chinoise sous Xi Jinping », Note de la FRS n°05/24 février 2017 – <https://www.frstrategie.org/publications/notes/moderniser-et-discipliner-la-reforme-de-l-armee-chinoise-sous-xi-jinping-05-2017>

► Le secteur industriel spatial et le poids des entreprises d'État

Il est difficile d'identifier avec précision le périmètre et la taille de l'industrie spatiale chinoise. Au plan des seuls effectifs, l'ordre de grandeur généralement admis est de 150 000 personnes employées dans le seul secteur étatique, un chiffre important comparé à l'effectif des entreprises américaines ou européennes (35 000 emplois). Le personnel de l'industrie spatiale chinoise est jeune et la plupart des dirigeants ont moins de 50 ans.

Les différents centres industriels sont inégalement répartis sur le territoire chinois. La localisation des principaux lieux d'activité spatiale montre le rôle prépondérant tenu par Pékin et Shanghai, les deux centres historiques et le développement plus récent des activités à Hainan. En même temps, la volonté de développer des capacités moins vulnérables en les situant à l'intérieur de la Chine a laissé des traces durables. L'existence d'industries lourdes dans le nord-est du pays a contribué à cette géographie spatiale. Les efforts de reconversion de ces entreprises et le souci de modernisation contribuent sans doute à valoriser leur participation à la production spatiale. Elles entrent toutefois désormais en concurrence plus ou moins ouverte avec les nouveaux centres de compétences développés sur le littoral dans le cadre d'une volonté d'ouverture.

Directement héritée d'une économie planifiée dans laquelle les entreprises sont intégrées dans les structures étatiques, l'organisation industrielle spatiale a été largement élaborée sur le modèle soviétique avec la création de vastes entités appelées Académies, souvent désignées par des numéros, et regroupant des capacités de recherche effectuées au sein d'instituts, des moyens de production expérimentale et d'essais et enfin des usines. L'originalité chinoise est venue de la volonté du leader Deng Xiaoping soucieux de faire participer aux réformes économiques l'APL, dont dépendaient alors les entreprises suite aux troubles de la Révolution culturelle. Conçues comme un moyen de limiter le prélèvement sur les ressources générales et comme une prise en charge partielle par l'Armée de ses propres besoins, ces mesures ont de fait conduit à une expansion économique rapide. À partir de 1984, la décision de transférer plusieurs grandes entreprises de l'industrie de défense au secteur civil a surtout donné lieu, dans la pratique, à la création de nouvelles sociétés, dont certaines sont présentes sur le marché international, comme la Compagnie de la Grande Muraille dans le domaine spatial, mais qui restent étroitement liées à l'APL. Des structures particulières sont même mises en place pour contrôler les grandes opérations commerciales et financières, comme la mise en place d'un « Groupe dirigeant de la production » qui fonctionnera officiellement d'avril 1985 au printemps 1998. Une société spécifique, Xinxing, est fondée à la même époque pour gérer les différentes sociétés rattachées au Département de logistique générale.

Depuis, l'organisation industrielle spatiale est concernée par deux réformes, entamées à la fin des années 1990 mais toujours pas achevées, celle des industries de défense, dont le spatial a longtemps été partie prenante et avec lesquelles il garde des liens, et celle, plus générale, des entreprises d'État.

Dans le secteur général des industries de défense, le changement fondamental a d'abord été la décision de supprimer le volet commercial extrêmement important que possédait l'APL. Devant l'ampleur du phénomène et l'aggravation des problèmes de corruption ainsi que la détérioration de l'image de l'Armée, l'annonce que l'APL doit cesser sa participation à des activités commerciales est finalement décidée à l'issue du XV^{ème} Congrès du parti et officialisée par Jiang Zemin après une réunion élargie de la Commission militaire centrale. Ce changement profond de politique s'est traduit de différentes façons. Les autorités locales ont parfois pris en charge la tutelle de certaines entreprises, d'autres ont été rachetées par des acteurs privés. Compte tenu de leur spécificité, les industries spatiales n'ont finalement été touchées qu'en termes de tutelle. Elles ont gardé leur capacité de commercialisation indépendante mais se sont émancipées, au moins partiellement, de la gestion directe de l'APL.

La deuxième réforme, celle des entreprises d'État, n'est toujours pas véritablement parvenue à son terme. Elle a pour ambition une rationalisation des entreprises industrielles, une amélioration significative de la production et des coûts et la disparition des sociétés non rentables tandis que les plus performantes favoriseraient l'intervention d'acteurs privés restant toutefois sous un contrôle étatique indirect. L'application de ce principe général a provoqué bien des changements parfois contestés au sein du Parti et de la population dans la mesure où ils se traduisaient par d'importantes conséquences sociales. La fin du « bol de riz en fer », selon l'expression consacrée qui désigne l'ensemble des prestations dont bénéficiaient les travailleurs des entreprises d'État, a suscité une paupérisation d'autant plus grave qu'elle touchait des populations ne disposant pas d'alternatives du fait de la situation générale de l'économie de la région et de leur absence de formation.

Dans le cas du spatial, ce schéma a peu joué hormis, éventuellement, pour quelques sous-traitants. Le caractère stratégique symbolique, au sens étroit aussi bien que large de l'expression, de l'activité spatiale est en effet trop fort pour que la fermeture d'entreprises importantes ait été envisagée. De plus la croissance affichée des besoins spatiaux dans les différents plans quinquennaux et la montée en gamme des compétences industrielles sécurisent pleinement l'activité. En revanche, on a assisté à des réorganisations et à de nouvelles répartitions de compétence destinées à améliorer l'efficacité globale. Quant à l'apparition de nouvelles tutelles, la réforme a pu jouer dans le cas de pouvoirs régionaux proches du pouvoir central et disposant de moyens suffisants comme à Pékin et Shanghai.

Depuis 2017, le spatial est par ailleurs éligible aux nouvelles mesures en faveur de l'intégration du développement des capacités militaires et civiles, une opportunité saisie par les entreprises d'État elles-mêmes. Enfin la création d'une commission dédiée présidée par Xi et le financement de 2 000 projets de R&D défense proposés par le secteur privé

ainsi que la mise en place d'un comité de la recherche scientifique militaire destiné à soutenir l'innovation²⁶³ contribuent à soutenir l'élan d'ouverture.

B. LES INITIATIVES EN MATIÈRE DE PETITS SATELLITES ET PETITS LANCEURS

► Des acteurs au statut complexe

La plus importante des entités spatiales, la CASC (*China AeroSpace Corporation*), créée en 1989, était l'une des cinq grandes entités industrielles de l'armement placées sous la tutelle de la COSTIND civile issue de la réorganisation de 1998. En 1999, elle était partagée en deux groupes d'établissements rapportant directement au Conseil d'État comme des ministères à part entière.

- ➔ La CASTC (*China AeroSpace Science and Technology Corporation*), aussi connue sous le nom historique de CASC, se consacre aux activités spatiales et assure le développement des lanceurs et des satellites. La CALT (entité de la CASC) assure le développement des lanceurs Longue Marche commercialisés par la Compagnie de la Grande Muraille (en anglais CGWIC, *China Great Wall Industry Corporation*)²⁶⁴.
- ➔ La CAMEC (*China AeroSpace Machinery and Electronics Corporation*) se spécialise dans la production de missiles tactiques, armements divers... En 2001, le groupe ne renonçant pas à ses compétences spatiales devient la CASIC (*China Aerospace Science and Industry Corporation*).

Le caractère stratégique du lancement spatial et l'implication exclusive de l'APL, via le Département Général de l'Armement devenu le Bureau des équipements de la Commission militaire centrale depuis la réforme de 2015 qui gère et opère les installations spatiales²⁶⁵, limitent le développement des acteurs commerciaux, longtemps filiales des grandes entreprises du spatial gouvernemental.

Le développement des petits lanceurs chinois marque une nouvelle orientation liée à l'ouverture du secteur des satellites et des lanceurs annoncée en 2015 par le gouvernement dans l'esprit de renforcement de la synergie civilo-militaire avec l'implication directe ou indirecte des grandes entreprises d'État. Parmi les petits lanceurs actuellement opérationnels, on retrouve les deux filières historiques CASC, CASIC et de nouvelles formules en termes de commercialisation des lancements (mais aussi d'autres services spatiaux).

²⁶³ Ce comité semble s'inspirer fortement de la DARPA.

²⁶⁴ <http://www.cgwic.com/Launchservice/LM2C.html>

²⁶⁵ Notamment le *China Satellite Launch and Tracking Control* – CLTC, qui supervise l'ensemble des lancements chinois et les opérations de suivi.

- ➔ Les lanceurs Longue Marche-6 et Longue Marche-11 produits par la CALT sont commercialisés par une nouvelle entité créée en 2016 par la CALT, E-Town Capital²⁶⁶ et China Aerospace Investment Holding, la China Rocket Ltd. qui aurait le statut d'entreprise commerciale possédée par l'État²⁶⁷. Son histoire est d'ailleurs assez complexe puisqu'elle serait l'émanation de la China Asia Pacific Mobile Telecommunications créée en 1998 et devenue opérateur en 2013 sous l'appellation de China's22nd²⁶⁸.
- ➔ Les lanceurs Kuaizhou-1A et Kaituoze-2 de la CASIC sont commercialisés par une société commerciale, la CASIC Rocket Technology Company, connue aussi comme ExPace Technology Co., créée aussi en 2016 par la CASIC et le China Sanjiang Space Industry Group, lui-même issu de la 9^{ème} Académie de la CASIC et présentée comme la première société commerciale, elle a obtenu en 2017 un financement privé²⁶⁹. D'après ses annonces, elle envisage un *business plan* ambitieux d'ici 2020 avec le lancement de 140 satellites en 50 tirs²⁷⁰.

Une autre société mise en avant dans les médias occidentaux²⁷¹, One Space Technology, capitalise sur les encouragements nationaux avec un financement de la SASTIND dès 2015 mais aussi sur ceux fournis au niveau municipal en 2017 avec son installation partielle à Chongqing²⁷², une des villes les plus dynamiques des provinces occidentales chinoises avec la création d'une zone économique spéciale de 1 200 km² destinée à développer une économie industrielle s'appuyant sur une part croissante de hautes technologies. Le principal investisseur d'One Space, Legend Holdings, est bien connu puisque c'est la compagnie mère de Lenovo, le plus grand fabricant d'ordinateurs personnels. Les autres actionnaires institutionnels se composent de HIT Robot Group de Harbin Institute of Technology, et de sociétés de l'internet : Chun Xiao Capital et Land Stone Capital²⁷³. De nouveaux investisseurs seraient aussi annoncés tels China Merchants Capital, Zhengxuan Investment... Outre une fusée suborbitale, dite aussi hypersonique, OS-X1, en test en décembre 2017, la société développe une série OS-M de petits lanceurs destinés à des petits satellites et qui pourraient, à terme, être réutilisables.

²⁶⁶ Il s'agit d'une société d'investissement et de financement possédée par l'État et qui recueille des fonds tant privés que publics, consacrée au soutien de Beijing Economic-Technological Development Area, connue comme E-Town

²⁶⁷ http://www.chinadaily.com.cn/beijing/2016-11/16/content_27443713.htm

²⁶⁸ <https://chinaspacereport.com/2016/10/19/new-chinese-commercial-spaceflight-provider-makes-debut/>

²⁶⁹ <https://www.chinamoneynetwork.com/2017/12/19/chinas-commercial-space-launch-company-expaceraises-180m-round>
http://www.xinhuanet.com/english/2017-12/19/c_136837164.htm

²⁷⁰ <https://www.asianscientist.com/2016/09/columns/final-frontiers-expace-chinas-version-spacex-casic/>

²⁷¹ <https://gbtimes.com/chinese-commercial-rocket-company-onespace-set-for-debut-launch-in-june>

²⁷² <http://www.onespacechina.com/about/>

²⁷³ <http://www.scmp.com/news/china/article/1947369/space-final-frontier-chinese-start-ups-and-venture-capitalists>

Enfin, il existe des startups comme Landspace, fondée en 2015 par des anciens diplômés de l'Université Tsinghua et de l'Université de Pékin, et ayant conclu un partenariat avec la société danoise Gomspace dont le premier exemplaire – produit par Gomspace – devrait être lancé en 2018.

À ce jour, cependant, et quel que soit le niveau des ambitions d'un secteur commercial – sinon privé, du moins soutenu en partie par des investisseurs privés – la mise en œuvre du lancement reste cependant du ressort des Forces des Lanceurs. Elles ont aussi la responsabilité de la continuité des services dans le cadre du programme de type "quick launch", un souci parallèle à celui des États-Unis pour le développement des petits lanceurs afin de remplacer les capacités spatiales en cas de nécessité, les sociétés s'en tenant à la commercialisation des lanceurs.

► Réalisations et projets en matière de petits satellites

Le secteur des petits satellites est indéniablement moins sensible que celui des petits lanceurs. Une association des fabricants de satellites a ainsi été créée en 2015 pour favoriser le développement et l'usage de petits satellites à destination de startups dans le domaine des télécom et de l'observation de la Terre.

Dans le domaine des petits satellites, la plupart des cubesats ou équivalents sont issus de l'Académie des Sciences et des universités comme Harbin Institute of Technology, Beijing Institute of Technology, Beihang University, Northwestern Polytechnic University, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics et Tsinghua university. Ces satellites peuvent servir à des fins éducatrices et de tests technologiques (comme de nouvelles barrettes CCD, des communications laser ou des expérimentations de récupération de débris) à des fins civiles aussi bien que militaires.

Quelques satellites gouvernementaux ont aussi été lancés mais la principale constellation celle de 21st Century Aerospace se compose de 3 satellites fournis par SSTL.

Dans le domaine commercial, on retrouve ExPace Technology qui propose une constellation de 57 satellites de télécommunications à bande étroite et de 156 satellites en bande Ka pour internet²⁷⁴.

Ce créneau assez peu investi par les acteurs institutionnels traditionnels est appelé à prendre un relatif essor et le souci de la Chine de s'inspirer du modèle américain si l'on en croit les multiples projets comme SkyWalker Constellation de la compagnie HEAD mais les informations restent parcellaires²⁷⁵.

²⁷⁴ <https://www.asianscientist.com/2016/09/columns/final-frontiers-expace-chinas-version-spacex-casic/>

²⁷⁵ <https://translate.google.fr/translate?hl=fr&sl=en&tl=fr&u=http%3A%2F%2Fen.head-aerospace.com%2Findex.php%3Fs%3D%2FHome%2FArticle%2Findex%2Fcategory%2Fsatellite&anno=2>

Des coopérations sont aussi en projet comme avec la société russe Dauria Aerospace (cf. fiche pays Russie).

Certains projets sont particulièrement ambitieux CommSat de Tsinghua avec XinWei, grande entreprise de télécommunications, prévoyant en 2025 une constellation de 300 satellites à large bande orbitant théoriquement à 800 km²⁷⁶. Le projet serait réalisé en 3 phases, la première comprenant 54 satellites et commençant *a priori* en 2018. Les ambitions affichées concernent aussi bien les communications intelligentes, l'accès à internet, les objets connectés et le suivi maritime et aérien.

C. LA RÉFÉRENCE AU MODÈLE AMÉRICAIN : SON POUVOIR D'ATTRACTION ET SES LIMITES

Qu'il s'agisse de petits satellites ou de petits lanceurs, la référence universelle est désormais celle d'Elon Musk et de Space-X²⁷⁷. Ce discours est tenu aussi bien par la presse que par les groupes eux-mêmes ce qui confirme leur modernité et la capacité de la Chine à se mettre au niveau des acteurs américains, un leitmotiv du rattrapage devenu aujourd'hui un des points forts du discours officiel qui en annonce désormais la date : 2050.

Dans la pratique, l'effet d'imitation semble relativement théorique. Certes les grandes entreprises d'État du spatial insistent sur leur volonté d'intégrer des sociétés privées dans leurs fournisseurs afin de répondre à la ligne gouvernementale de l'intégration civilo-militaire, mais leur suprématie n'est remise en cause par aucun nouvel entrant. Au contraire, elles sont parties-prenantes des nouveaux projets sur un modèle de diversification sans prise de risque particulière puisqu'elles sont un des acteurs parmi d'autres des sociétés de commercialisation récemment créées.

Par ailleurs, le contrôle gouvernemental très fort qui s'exerce sur le secteur ne permet que l'apparition d'acteurs adoués par le pouvoir qu'il soit national ou local et on le voit nettement au travers de la présence de fonds d'investissement mis en place par l'État ou les pouvoirs locaux.

D. BILAN

Le rôle du segment spatial est désormais évoqué autour du thème récurrent des Nouvelles routes de la soie et du développement de nouveaux besoins parmi lesquels on peut noter le positionnement des mobiles. Le dynamisme des acteurs de l'internet chi-

²⁷⁶ https://www.alwihdainfo.com/China-working-on-300-plus-satellite-constellation-for-global-communications_a61856.html

²⁷⁷ ExPace Technology l'affiche dans son nom même, mais on retrouve la référence pour Xie Tao le fondateur de CommSat.

nois peut aussi trouver à s'exercer dans ce secteur d'activité, en particulier dans la perspective du marché des objets connectés y compris des automobiles. L'investissement réalisé dans le domaine du transport maritime ou ferroviaire actuellement à l'ordre du jour peut tout à fait se poursuivre dans l'acquisition de satellites comme supports des flux d'information. Pour autant, les acteurs principaux relèvent encore du monde des télécommunications pour une éventuelle demande de petits satellites à vocation commerciale.

La récolte de données via l'usage des services spatiaux peut être une incitation nouvelle à l'investissement, le spatial jouant son rôle dans la mise en place d'une économie de l'innovation destinée à devenir le nouveau moteur de la croissance chinoise.

Annexe 6 FICHE PAYS – INDE

A. CONTEXTE GÉNÉRAL DU SPATIAL NATIONAL : UNE INDUSTRIE SPATIALE À CRÉER

► Les priorités applicatives du spatial indien

Les activités spatiales indiennes ont des caractéristiques spécifiques tenant à leur histoire. Dès le début de l'ère spatiale, les responsables sont des scientifiques reconnus formés par la colonisation soucieux d'utiliser les nouvelles technologies pour contribuer directement à sortir l'Inde du sous-développement. Le problème est que le pays ne dispose alors d'aucune capacité industrielle et technologique propre.

La voie choisie a donc été celle des coopérations tous azimuts en s'appuyant sur le statut de pays non aligné avec l'ambition de développer progressivement des capacités autonomes.

L'organisation mise en place dès 1969 fait de l'agence spatiale, l'ISRO, l'acteur principal du dispositif. Elle est chargée de développer des applications indispensables pour lutter contre la faim, le sous-aménagement, l'absence d'infrastructures conçues pour une population nombreuse mais aussi largement analphabète. Cette "Vision" du fondateur de l'ISRO, Vikram Sarabhai, qui est toujours affichée comme au cœur des programmes de l'ISRO, s'est illustrée dans les efforts de l'Agence pour utiliser les services spatiaux fournis par des satellites tiers dans le cadre de coopérations bilatérales²⁷⁸, en parallèle de ses tentatives de se doter d'une capacité autonome de lancement.

L'effort porté sur les satellites d'observation de la Terre, télécommunications et météorologie s'inscrit dans la vision globale animant l'ensemble des scientifiques et politiques indiens des années 1960, celle du "*leapfrogging*", puisqu'il s'agit de dépasser son retard en faisant l'économie des étapes intermédiaires pour parvenir directement à l'état technologique le plus avancé. Vu comme l'illustration de la science et de la technologie du futur, l'espace s'imposait comme un domaine prioritaire d'action. Restait une seule difficulté, parvenir à développer les compétences nécessaires pour remplir cette ambitieuse mission et construire le modèle d'autosuffisance voulu par le pouvoir politique qui insiste sur la nécessité de développer des technologies indigènes dans tous les domaines clefs²⁷⁹.

²⁷⁸ *NASA in the world, Fifty Years of International Collaboration in Space*, John Krige dir., Palgrave, 2013.

²⁷⁹ *Wings of fire*, Abdul P. J. Kalam, New Delhi, Penguin India, ed. 2006.

L'objectif premier était ainsi de transformer les pratiques agricoles et assurer une modernisation des campagnes ainsi qu'une amélioration de la production nationale capable de couvrir les besoins de la population.

Cette volonté d'application pratique est ainsi au cœur des premières expériences de télédétection indiennes dès les années 1970 autour de la détection des maladies des cocotiers grâce à des images acquises en utilisant des caméras et des films Hasselblad fournis par la NASA et embarqués sur l'hélicoptère soviétique fourni dans le cadre de l'installation du centre de fusées-sondes de Thumba²⁸⁰.

Dans le même registre, l'Inde dispose d'une station de réception des données Landsat installées à Hyderabad par l'Agence nationale de télédétection (alors indépendante de l'ISRO) avant même le lancement de son premier satellite Rohini par une fusée soviétique et le premier tir du SLV indien.

La symbolique étroite entre capacités spatiales et usages cartographiques se retrouve en 1982 lors de la célébration internationale des nouvelles compétences de l'Inde désormais capable de lancer ses propres satellites. Elle se matérialise par le transport au Science Museum à Londres d'une maquette grandeur nature du deuxième satellite Rohini dans le cadre de l'exposition « *Festival of India: from Bullock cart to the Space Age* » inaugurée par les deux Premiers ministres, Indira Gandhi et Margaret Thatcher.

► **Le rôle de plus en plus hégémonique de l'Agence spatiale indienne**

Ce caractère polyvalent des programmes de l'ISRO inclut aussi un volet lanceur qui signe l'accession de l'Inde au statut de puissance spatiale de plein exercice. Même si l'Inde a collectionné les partenariats avec la France et la Russie en particulier dans ce domaine, elle a aussi connu des contraintes en matière de transferts de technologies se traduisant par la mise au point d'une multiplicité des usages et des versions du PSLV, initialement un petit lanceur, pour la mise au point de satellites géostationnaires de petite masse et au point de l'avoir utilisé pour la mise en orbite de la sonde Mangalyaan autour de Mars.

Proche du pouvoir politique dans la mesure où le directeur de l'ISRO est aussi le secrétaire du Department of Space (DoS) placé sous l'égide du Premier ministre, l'Agence – acteur influent en matière de proposition de la politique spatiale –, ne connaît aucun concurrent puisqu'elle assure aussi bien la définition des programmes que leur maîtrise d'œuvre.

Ainsi dans le domaine de l'observation de la Terre qui reste un de ses points forts, elle a progressivement renforcé son caractère hégémonique et incontournable en absorbant

²⁸⁰ Thumba Equatorial Rocket Launching Station (TERLS), premier centre de lancement indien développé sous l'égide des Nations Unies en 1962 appartenant désormais au Vikram Sarabhai Space Centre.

l'ensemble des structures utilisatrices comme la *National Remote Sensing Agency* et en hébergeant le secrétariat du NNRMS, une entité inter-agences spécialement chargée de la gestion des ressources naturelles indiennes.

Presque 50 ans après sa création, l'ISRO, en charge de toutes les étapes de l'activité spatiale de la recherche à la production, emploie presque 17 000 personnes dont les 3/4 sont des ingénieurs et des techniciens, le quart restant étant composé d'administratifs. Avec un budget annuel d'1,3 milliard de dollars, l'ISRO a assuré, pendant l'année 2016, le tir de 5 PSLV et un GSLV (Mk II), la mise en orbite de 4 satellites indiens d'observation de la Terre et 2 satellites de navigation, et elle dispose d'une flotte d'une vingtaine de satellites dont un observatoire astronomique et une mission martienne.

► Une culture de la valeur ajoutée

Si l'on prend le cas de l'observation de la Terre qui est un domaine clef du spatial indien, la particularité des travaux indiens sur le sujet est la description systématique des activités de télédétection intégrant les capacités des capteurs et leurs usages assortis d'exemples concrets²⁸¹. La liste des lancements de satellites montre la continuité et l'ampleur de l'effort fourni. L'amélioration des systèmes se décline à tous les niveaux spectral, spatial, de résolution, de répétitivité. Les spécifications techniques répondent à des besoins très clairement identifiés au préalable en combinant résolution, taille des images et répétitivité et en diversifiant les capteurs. Il s'agit prioritairement du secteur de l'agriculture dans une double perspective : améliorer la productivité, en particulier dans les zones en déficit d'eau et favoriser une mise en culture adaptée n'épuisant pas les ressources du sol. Cette préoccupation de gestion durable est au cœur de l'approche depuis les années 1990, les satellites contribuant de plus en plus à montrer les dégâts occasionnés par l'exploitation anarchique des forêts, des zones humides, la dégradation des sols, des richesses littorales, les glissements de terrain, le tout aggravé par l'importance des risques naturels qui affectent le sous-continent comme les tremblements de terre, les inondations, le réchauffement...

Les satellites de télédétection et de météorologie sont donc des outils évidents pour la mise en œuvre d'un plan de gestion responsable soutenu par les autorités fédérales et celles des États qui sont tous concernés et qui passe par une intégration dans des systèmes d'information géographique dont il faut assurer la mise à jour permanente²⁸². Les enjeux sont évidents et expliquent le large soutien aux programmes de la part d'utilisateurs sensibilisés aux risques divers auxquels le pays est confronté dans un contexte de

²⁸¹ *Remote sensing: an overview*, Ranganath R. Naval Gund, V. Jarayaman, P.S. Roy in *Current science*, 93 (12), 2007, Bengaluru, pp. 1747-1766. Le document est cité ici à titre d'exemple particulièrement détaillé mais d'autres publications de ce type sont disponibles dans la littérature spécialisée mais aussi sur le site de l'Indian Institute of Remote Sensing voir <http://www.iirs.gov.in/recentstudies>

²⁸² Un bon exemple est le projet CAPE, Crop Acreage and Production Estimation qui combine données spatiales et outil statistique pour fournir une évaluation des récoltes à l'échelle de 15 États.

croissance démographique continue et de gestion marqué aussi par une forte corruption et une incompétence bureaucratique largement répandue. La relation forte avec le NNRMS s'inscrit bien évidemment dans cette logique de fourniture de données.

Enfin, les préoccupations de sécurité nationale figurent explicitement dans les missions que l'ISRO considère de son devoir. Alors que la dimension civile du programme spatial est systématiquement mise en avant afin de garantir au maximum les transferts de technologie indispensables²⁸³, en attendant que l'Inde puisse réaliser son ambition de concevoir et produire un programme de "bout en bout"²⁸⁴, le développement à marche forcée du programme TES est explicitement présenté sous l'angle de la nécessité de fournir des images aux militaires sur le terrain pendant la guerre du Kargil contre le Pakistan en 1999. Le responsable du programme va jusqu'à comparer la réalisation en deux ans d'un satellite de 1 m de résolution (à partir de compétences qui se limitaient à 5,8 m), capable de fournir des données à des stations de réception spécifique, aux efforts réalisés par les Anglais pendant la Seconde guerre mondiale pour le développement du radar²⁸⁵ ! Les produits obtenus restent pour autant duaux, la résolution métrique étant un atout cartographique évident. Cet intérêt civilo-militaire se retrouve avec le satellite Risat-2²⁸⁶ acheté à Israël et s'inscrivant dans ce type de logique, l'ISRO mettant en avant son intérêt pour l'agriculture en période de mousson. Il n'est pas tout à fait dit qu'il en aille absolument de même avec le satellite Cartosat-3 dont la résolution attendue sera de 25 à 30 cm.

Depuis le milieu des années 2000, l'ISRO affiche sa volonté pour passer dans le domaine de l'observation de la Terre du statut de "*data provider*" à celui de "*service provider*" en proposant des solutions complètes et intégrées ("*end to end solutions*") aux besoins des utilisateurs. On perçoit bien dans cet affichage le poids du discours de plus en plus présent à l'échelle internationale dans le domaine de la télédétection même s'il est exact que cette préoccupation s'inscrit parfaitement dans la logique du cas indien. Ce qui est notable est la conclusion de cette ligne de réflexion, à savoir la nécessité de développer une gamme complète de capteurs et moyens afin de pouvoir répondre à tous les besoins, soit une ambition que ne renierait aucune agence au monde !

Pour autant, ces ambitions deviennent de plus en plus paradoxales par rapport à un autre point profondément original du spatial indien et qui devient de plus en plus sujet de

²⁸³ L'Inde est soumise à une double contrainte comprenant une dimension potentiellement contradictoire puisqu'elle veut à la fois préserver le *leapfrogging* technologique ce qui suppose d'avoir accès aux toutes dernières technologies (cas emblématique d'IRS P-3 avec son système de stabilisation 3 axes encore peu répandu au milieu des années 1990) et garantir son autonomie dans le développement de ses systèmes.

²⁸⁴ L'expression "*from end to end*" est quasi systématique dans tous les documents d'orientation et de stratégie.

²⁸⁵ Goel P.S., *Operational Satellite of ISRO. From Fishing Hamlet to Red Planet*, ed Manoranjan RAO P. V., ISRO, ebook, 2015.

²⁸⁶ Il est intéressant de noter qu'étant extérieur à la filière indienne, le satellite porte le numéro de RISAT-2 alors qu'il est lancé en 2009, le nom de RISAT-1 étant réservé au satellite de fabrication nationale qui sera lancé 3 ans plus tard en 2012.

débat, l'inadaptation de la capacité industrielle aux besoins de plus en plus notables que l'ISRO doit satisfaire.

► Une industrie spatiale qui peine à trouver sa place

Après plus de 30 ans de développement indigène de produits spatiaux, les industriels n'interviennent encore que comme sous-traitants et sous la responsabilité des centres spécialisés de l'ISRO. Ceci s'explique, là encore, par la méthodologie employée du temps des pionniers et résumée dans la formule "Bharat Darshan" – évoquant le principe du pèlerinage dans l'Inde ancienne. L'Agence se chargeait en effet d'identifier les capacités technologiques existantes dans l'ensemble du tissu industriel national et de les adapter aux besoins spatiaux, une démarche justifiée par le retard initial de l'industrie indienne et la nécessité d'assurer le contrôle de qualité des technologies spatiales. Cela a conduit à la mise en place de compétences directement intégrées, le principe affiché étant celui d'un transfert de compétences assuré par la société Antrix, créée spécialement à cet effet en 1992.

Si l'ISRO se félicite du succès des transferts de technologie au fil des trente dernières années et souligne la très grande diversité des entreprises aujourd'hui concernées par les programmes spatiaux, seuls quelques PSUs (*Public Sector Undertakings or Units*) : BrahMos Aerospace, Hindustan Aeronautics Ltd (HAL), Mishra Dhatu Nigam Limited (MIDANI), Godrej and Boyce, Larson & Tubro (L&T), Walchand Nagar Industries Ltd (WIL), MTAR Technologies ont une activité significative. Par ailleurs, un nombre croissant de firmes de diverses tailles interviennent dans le secteur spatial puisque l'on en dénombre plus de 500, en 2016, avec des degrés d'implication très divers allant de la contribution effective à la fabrication, à la simple fourniture de produits.

Ce type d'organisation, déjà jugé complexe, ne peut plus prétendre à se pérenniser dès lors que les besoins annoncés atteignent une nouvelle envergure. En 2017, on annonce plus de 170 projets portés par 60 entités gouvernementales et concernant aussi bien la gestion des ressources naturelles que l'énergie et les infrastructures, la prévention des risques majeurs, la navigation, les flux de télécommunications, la e-gouvernance... bref la gamme complète des applications spatiales civiles mais aussi duales, et désormais aussi liées à des enjeux de sécurité. Dans les faits, de telles ambitions se traduisent par la programmation de 71 satellites à construire d'ici 2021 et à lancer avec une fréquence atteignant les 18 tirs par an.

Même si des raisons budgétaires peuvent entraîner une baisse de ces prévisions, la tendance demeure et interdit de poursuivre sur le modèle actuel d'une Agence dont une part croissante des ressources en hommes et en infrastructure serait consacrée à des activités strictes de production.

Différentes logiques sont désormais à prendre en compte. La première est celle du transfert de compétences à l'industrie qui devient dès lors un acteur à part entière. Ce basculement pose la question du partenariat mais aussi de la rentabilité et donc en creux à terme celui de la commercialisation du fait de l'ISRO (plus précisément d'Antrix²⁸⁷) ou des acteurs industriels.

B. L'ÉVOLUTION DU MODÈLE ÉCONOMIQUE DOMINANT

La situation actuelle est l'héritage de la volonté d'autonomie d'une bureaucratie spatiale dont les succès sont reconnus et dont la validité des choix dans la définition de ses objectifs n'est pas mise en cause. Les réalisations spatiales indiennes se caractérisent par une vision de type service public qui a fortement contribué à la légitimité du secteur. Le secteur spatial a calculé ses bénéfices essentiellement au travers de retombées indirectes, sectorielles ou globales : efficacité plus grande de la pêche, actions d'aménagement sous différentes formes comme la recherche d'eau, de matières premières, le suivi des récoltes, la télé-éducation ou le télé-enseignement, une commercialisation directe de produits spatiaux peut aussi être bienvenue pour renforcer sa position.

Par ailleurs, la diversification des activités (exploration, vols habités) que l'ISRO ambitionne désormais n'est pas sans conséquence. Les acteurs du spatial sont bien conscients du fait qu'ils ne pourront pas obtenir de hausses exagérées de leurs ressources. L'intervention d'acteurs extérieurs représente un facteur de perturbation que les responsables ont voulu éviter le plus longtemps possible. Il leur faut cependant désormais envisager de concentrer leurs compétences là où elles sont les plus nécessaires et accorder une place plus grande aux sociétés industrielles en particulier en les faisant passer du rôle de sous-traitant à celui de Prime.

Ce changement d'approche s'inscrit aussi dans l'évolution du modèle indien sous l'impulsion du Premier ministre Modi. Les élections législatives de 2014 ont en effet marqué un tournant dans la vie politique indienne. La campagne menée par Narendra Modi a porté sur le thème de la libéralisation de l'économie indienne destinée à doper le développement économique avec comme priorité de favoriser l'emploi. Le slogan "*Make in India*" et l'appel aux investissements étrangers sont au cœur du projet politique même si leur mise en œuvre tarde à se concrétiser.

Le secteur spatial est pris dans ces dynamiques, en particulier celle de l'Inde digitale qui concerne directement les télécommunications spatiales, une activité où l'Agence était déjà incapable de répondre aux attentes des fournisseurs de services. L'ISRO doit dé-

²⁸⁷ <http://www.livemint.com/Science/tWvAvnsZ7GQeYhopKU6tM/Indias-space-business-is-ready-for-liftoff.html>

sormais renoncer à son hégémonie pour répondre à la nécessité d'accélérer la production de satellites et de lanceurs ce qui implique le développement d'une véritable industrie spatiale avec dans les étapes possibles la mise en place de partenariats public-privé.

► **Partenariats public-privé et joint-ventures : les nouveaux enjeux du spatial indien**

Après de multiples annonces non officielles, le responsable de l'ISRO a finalement annoncé, en 2017, le projet de dévolution de la production des capacités lanceurs et d'intégration de satellites à l'horizon 2020. Celle-ci ne devrait pas se faire sous la forme d'un partenariat public-privé (PPP), une ambition gouvernementale gérée par Niti Aayog qui donne d'ailleurs lieu à de nombreuses déceptions²⁸⁸ mais plutôt dans le cadre d'une JV qui pourrait aller de la production au lancement²⁸⁹.

Le discours des experts insiste ainsi sur une approche réaliste. La place nouvelle donnée aux acteurs industriels dans la production du PSLV est loin de la logique des approches commerciales américaines ou européennes²⁹⁰. Il s'agit d'abord de rationaliser la production d'un lanceur dont les composants sont fournis à 80 % par un partenariat public-privé composé de Godrej&Boycen L&T, Centum Electronics, Data Patterns, HAL..., mais assemblé par l'ISRO.

La situation est différente concernant les satellites de télécommunications. Après l'accord entre Antrix et EADS Astrium de fabrication en commun d'un satellite destiné à la commercialisation, l'ISRO a confié la production de deux satellites de navigation à un consortium privé dirigé par Alpha Design Technologies, une entreprise de Bangalore issue du secteur de la défense. L'appel aux entreprises privées lancé par le Président de l'ISRO, AS Kiran Kumar, est le fruit d'un constat. Même si l'ISRO va offrir avec la nouvelle génération de satellites GSAT19, 11 et 20 de nouvelles capacités pour la connexion internet²⁹¹, l'Agence est incapable de répondre seule à une demande croissante, les moyens disponibles représentant environ la moitié des capacités nécessaires.

Enfin, de nouveaux acteurs s'inscrivant dans la logique de l'espace 2.0 se proposent pour développer des constellations de satellites comme Dhruva Space ou Astrome Technologies, une startup de Bangalore soucieuse de proposer des solutions pour faciliter la connectivité à internet par satellites, d'abord à destination des Indiens, mais aussi, ultérieurement, au niveau régional favorisant ainsi l'image de l'Inde vis-à-vis de ses voisins.

²⁸⁸ <http://www.asianage.com/india/all-india/290917/pm-modi-seeks-ppp-to-boost-economy.html>

²⁸⁹ <https://thewire.in/191300/isro-looks-jv-pslv-manufacture-launch-privatised-2020/>

²⁹⁰ <https://thewire.in/110065/isro-gslv-falcon-ariane/>

²⁹¹ <http://www.indiandefensenews.in/2017/05/india-to-enter-high-speed-internet-era.html>

La scène est donc ouverte pour de nouveaux acteurs. Cela n'empêche pas que l'environnement réglementaire reste incomplet et que le flou demeure sur les étapes de réalisation. En revanche, il y a sans doute place pour des initiatives construites sur les opportunités du moment d'autant plus ouvertes que la question du financement reste cruciale.

C. LES INITIATIVES EN MATIÈRE DE PETITS SATELLITES ET PETITS LANCEURS

► Un terreau favorable à des titres divers

L'absence d'une industrie spatiale structurée conduit à un paysage indien sans équivalent par rapport aux autres puissances spatiales qui se caractérisent, elles, soit par des entreprises sous le contrôle de l'État (Russie, Chine), soit par une volonté affichée de favoriser l'initiative privée (États-Unis), l'Europe et le Japon représentant des cas intermédiaires en fonction du degré de maturité de leur industrie privée.

Les caractéristiques particulières déjà évoquées comme la culture de la valeur ajoutée et de l'intégration du spatial dans une chaîne de produits contribuent aussi à une sensibilité particulière de l'Inde vis-à-vis de systèmes spatiaux intégrés.

De plus, le côté contraint du budget spatial indien (1,3 milliard de dollars en 2017) a conduit à une approche systématique de type "jugaad" que l'on peut présenter comme des capacités d'innovation frugales ou d'ingéniosité à moindre coût.

Enfin, l'avènement d'une nouvelle génération d'ingénieurs formés en partie aux États-Unis et proches des technologies de l'information contribue à rebattre les cartes appelant à l'innovation et à la mise en place de nouveaux schémas d'approche de la philosophie de la technologie spatiale et de ses usages passant par la création de startups²⁹² et l'ouverture de l'ISRO à de nouveaux acteurs²⁹³. Même s'ils sont peu nombreux, leur profil est intéressant car renvoyant à d'autres cultures. Alors que l'innovation est considérée comme une manière ingénieuse de développer des systèmes efficaces à moindre coût, ces nouveaux venus évoquent davantage des logiques du type des clusters informatiques particulièrement illustrées à Bangalore, la Silicon Valley indienne. Les travaux menés sur ce sujet montrent la proximité des démarches personnelles de nombreux ingénieurs ayant une formation indienne et anglo-saxonne et analysent les effets des

²⁹² <https://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahU-KEWjQiaDCwqXKAhXMvBoKHZVBAAt8QFggfMAA&url=http%3A%2F%2Fesiaonline.org%2Fdownloads%2Fspace2-0-Shaping-Indias-Leap-into-the-Final-Frontier.pdf&usq=AFQjCNHoT8vS46WMT4bqi4epv93DehR5iw&cad=rja>

²⁹³ <http://www.thehindu.com/news/cities/bangalore/space-entrepreneurs-and-their-startups/article7830135.ece>

choix nationaux mais aussi des États dans le développement de zones économiques spéciales et de parcs d'activité²⁹⁴.

Plus largement, l'Inde est un des rares pays – sinon le seul – où le niveau de maturité technologique (*Technology Readiness Level*, TRL) est plus élevé dans le secteur spatial que dans le secteur aéronautique, en particulier dans la capacité à fournir des solutions clés en main²⁹⁵.

► Des projets de petits satellites encore sur le papier

Les encouragements du gouvernement Modi en faveur du développement de l'entrepreneuriat et les efforts pour la sensibilisation aux technologies spatiales et informatiques dans l'éducation expliquent la présence remarquable d'équipes indiennes dans les concours proposés par la NASA. C'est ainsi qu'un satellite de 64 gr d'un jeune étudiant a été sélectionné par la NASA en 2017 dans le cadre du challenge *Cubes in Space*²⁹⁶. Pour autant, les différents projets réalisés dans les universités ne trouvent pas de relais dans l'écosystème indien, un fait souvent déploré par les tenants d'un « New Space » à l'indienne²⁹⁷. De même la série des satellites IMS (*Indian Mini Satellite*) envisagée par l'ISRO n'a pas trouvé de développement concret faute de programme dédié.

Astrome Technologies, une startup issue de l'incubateur de l'*Indian Institute of Science* de Bangalore, envisage une constellation de 120-150 satellites en orbite basse (1 400 km) permettant de connecter un large public allant des particuliers aux entreprises avec des bandes passantes différentes en fonction du coût payé par l'utilisateur. La fondatrice de la société, Neha Satak, illustre parfaitement ces nouveaux entrepreneurs formés en Inde puis aux États-Unis²⁹⁸. Elle est associée à un chercheur en informatique qui possède déjà une entreprise présente en Inde, aux États-Unis et en Espagne montrant l'influence des facteurs d'opportunité.

La société Dhruva Space fondée en 2012 appartient au même écosystème des startups indiennes²⁹⁹. À la différence d'Astrome, elle ne s'implique pas dans la réalisation de produits particuliers mais est la première entreprise privée de fabrication de satellites. Son

²⁹⁴ Diyya Leducq, « La diffusion spatiale de l'informatique en Inde », *EchoGéo* [En ligne], 10 | 2009, mis en ligne le 03 septembre 2009, consulté le 12 janvier 2016. URL : <http://echogeo.revues.org/11355> ; DOI : 10.4000/echogeo.11355

²⁹⁵ <http://www.bloomoon.eu/fr/actualites/prise-de-parole/Technology-readiness-level>

²⁹⁶ <http://www.bbc.com/news/world-asia-india-39931556>

²⁹⁷ https://www.researchgate.net/publication/305210211_India's_Small_Satellite_Mission_-_Time_for_the_Next_Leap_Forward

²⁹⁸ Elle a ainsi un PhD de Texas A&M University.

²⁹⁹ En fait aussi partie de la société Team Indus engagée dans le Lunar Google Prize.

fondateur, Narayan Prasad, a une formation très internationale (Suède, France, Allemagne) et polyvalente incluant une dimension de management et d'économie assez rare dans ce milieu.

Peut-être la plus connue, car très internationale et médiatisée, Earth2Orbit fondée par Susmita Mohanty, un ingénieur dont l'éducation est indienne mais dont la carrière a commencé aux États-Unis sous les auspices de la coopération dans le cadre de l'ISS, propose plutôt de la consultance dans le domaine du marché spatial avec un objectif affiché, celui de donner à l'Inde toute sa place comme acteur commercial.

► Les petits lanceurs, des projets embryonnaires

Bellatrix Aerospace, basée à Bangalore et spécialisée dans la propulsion électrique pour satellites, est le principal représentant d'initiatives dans le domaine des petits lanceurs destinés à des nano-satellites comme Chataken complément d'un lanceur Garuda de moyenne capacité³⁰⁰. La société semble aussi impliquée dans la recherche pour le secteur de défense. Il semble qu'elle réussisse à attirer de nouveaux investisseurs mais ne propose pas pour le moment de projet de développement précis dans le domaine des lanceurs.

De son côté, l'ISRO a annoncé en 2017 qu'elle envisage de développer un lanceur dédié pour les petits satellites qui pourrait être testé en 2018-2019 mais sur lequel il n'existe que très peu d'informations³⁰¹.

Il faut enfin noter l'existence d'un projet franco-indien de recherche et technologie dans le domaine des lanceurs en particulier réutilisables et sur lequel il n'y a pas encore de projet précis clairement défini.

D. RÉSUMÉ DES LOGIQUES MARQUANTES

Avec l'arrivée au pouvoir du Premier ministre Modi, la vision du développement d'une industrie privée est de plus en plus présentée comme un objectif, mais aucune feuille de route concrète n'a encore été développée. Dans le domaine des lanceurs, l'ISRO propose le développement d'un "Space Park" à Sriharikota, mais il ne concernerait dans un premier temps que les activités d'assemblage, intégration et tests (AIT) ce qui semble déjà délicat à réaliser. Par ailleurs, le principe de la mise en place d'un consortium ne préjuge pas de son statut public, privé ou PPP. Quant au rôle que pourraient jouer des acteurs étrangers, il n'est pour l'instant pas abordé. De la même façon, la manière dont Antrix pourrait passer ses commandes au privé pour des lanceurs futurs, et le choix qui

³⁰⁰ <http://www.bellatrixaerospace.com/chetak.html>

³⁰¹ <http://www.thehindu.com/sci-tech/science/isro-developing-a-compact-launcher-for-small-satellites/article21420644.ece>

serait fait de l'entité (ISRO, Antrix, industriel) qui déterminerait alors le prix du lancement est loin d'être tranché alors qu'il s'agit d'un point essentiel.

Enfin, les analyses de marché sont ambiguës. En dehors du segment bien particulier des satellites géostationnaires, sur lequel l'Inde ne peut espérer se positionner au niveau international mais compte réaliser des économies sur le lancement de ses propres satellites, il existe deux marchés en croissance, celui des petits satellites en orbite basse assez classiques et le nouveau marché dit des GAFAs de microsatsellites (voire nano) sur orbites basses et moyennes. Or si l'Inde a effectivement une expérience dans le lancement de *piggybacks* à faible coût, et même si la signature d'un accord STA ("*Safe Technology Agreement*") avec les États-Unis facilite la possibilité de lancer des systèmes américains ou sous licence, il est clair que les entreprises américaines sont déjà prêtes à occuper ce segment, et qu'elles ont des possibilités technologiques et des facilités de production en série hors d'atteinte des industriels indiens.

Le débat est donc ouvert mais ne pourra pas être tranché immédiatement. Les analystes indiens appellent à une privatisation conforme à l'air du temps et indispensable pour permettre à l'ISRO de se concentrer sur des missions de R&T. De nouveaux arguments mettant en avant l'intérêt d'un développement des activités spatiales pour permettre à terme des économies de coût sur les contrats gouvernementaux ultérieurs ne sont pas sans recueillir un intérêt croissant, y compris de la part de membres de la communauté spatiale. Cela ne préjuge toutefois pas du statut de l'industriel ni du rôle que l'État voudra continuer à jouer.

Ce changement passe aussi par une clarification politique quant au rôle de l'ISRO incluant différentes dimensions juridiques sur le droit spatial national comme sur les conditions d'éventuels partenariats public-privé. Si le discours sur l'obligation pour l'Inde de profiter du marché, développer des compétences nationales et contribuer à un nouveau dynamisme du *Make in India* est bien présent, les analyses nationales soulignent bien encore les nombreux obstacles à lever avant de passer à la mise en œuvre.

Finalement, le débat le plus dynamique est aujourd'hui porté par les acteurs du Space2.0 qui insistent sur la notion de services et une approche technologique différente³⁰². Ce qui reste toutefois marquant est leur attachement à une proximité avec l'ISRO, tout en proposant la mise en place de clusters destinés à favoriser des investissements directs étrangers.

³⁰² Voir la publication en ligne <http://www.orfonline.org/research/space-india-2-0-commerce-policy-security-and-governance-perspectives/>

Annexe 7 APPROCHE THÉORIQUE DE LA NOTION D'INNOVATION

A. ÉLÉMENTS GÉNÉRAUX

La bonne santé économique d'une entreprise passe avant tout par la poursuite d'objectifs de croissance réalistes qui la pousse constamment à polir une stratégie d'innovation adaptée à ses spécificités et à son environnement extérieur afin de faire face à la concurrence, que ce soit par l'adoption d'une nouvelle technologie à proprement parler ou d'une nouvelle politique de développement. Bien qu'elles prennent des formes différentes, ces considérations stratégiques s'appliquent aussi au secteur public qui cherche à dépasser ses propres faiblesses structurelles. Il est toutefois nécessaire de reconnaître qu'il y a une vraie surenchère de l'usage du terme d'innovation, aussi bien dans le public que dans le privé, qui a dépourvu le mot « innovation » de son statut d'objet d'étude scientifique en tant que tel. Ce dernier est en effet souvent utilisé comme une « métaphore, une promesse politique, un slogan ou encore un 'buzzword' » (Kotsemir, Abroskin, 2013 : 3) qui sert d'argument d'autorité pour justifier des choix stratégiques et en définitive les investissements qui vont avec. De nombreux concepts ont pu voir le jour, tels que « l'innovation de l'océan bleu » qui consiste à trouver une stratégie de diversification adaptée à son entreprise et au marché visé (Kim, Mauborgne, 2005), « l'innovation frugale » qui promeut l'innovation à moindres coûts (Tiwari, Herstatt, 2011) ou « l'innovation organique » (Moore, 2005) qui valorise la fluidité des mécanismes d'innovation.

Cette nécessité de renouvellement des organisations a provoqué une dynamique de recherche interdisciplinaire à la croisée des chemins entre l'économie, la gestion et la politique, les fameuses « Innovation Studies », qui s'est particulièrement intensifiée à partir des années 1960 avec la création d'instituts de recherche spécialisés à travers le monde (Fageberg, 2005). De fait, il est intéressant de constater une multiplication des typologies proposées pour conceptualiser l'innovation dans la littérature spécialisée, qui à première vue peut paraître déconcertante. Les travaux de Garcia et Calantone passent en revue les types de classification et les catégorisent en fonction de leur complexité (Garcia, Calantone, 2002). Ils distinguent, parmi d'autres, les classifications basées sur le degré d'intensité du caractère innovant qui introduisent une notion de gradualité intéressante pour comprendre l'impact de l'innovation en question (Mensch, 1979 ; Freeman et al., 1982 ; Keinschmidt, Cooper, 1991 ; Wheelwright, Clark, 1992 ; Freeman, 1994) des classifications dichotomiques qui mettent davantage l'accent sur la nature de l'innovation même, en distinguant typiquement l'innovation dite « radicale » de l'innovation plus routinière (Arrow, 1962 ; Gilbert, Newbery, 1982 ; Priest, Hill, 1980 ; Utterback, 1996 ; Rice et al.,

1998 ; Coccia, 2005 ; Norman, 1971 ; Maidique, Zirger, 1984 ; Yoon and Lilien, 1985 ; Rorthwell, Gardiner, 1988 ; Grossman, 1970 ; Meyers, Tucker, 1989 ; Christensen, 1997 ; Robertson, 1967 ; Anderson, Tushman, 1990 ; Dosi, 1988). Les typologies d'innovation sont donc nombreuses et en faire une liste exhaustive présente *a priori* peu d'intérêt pour cerner le sujet sur un plan théorique.

En outre, d'autres difficultés font obstacle à cette tâche délicate de caractérisation comme le fait que les modèles d'innovation technologique ont tendance à décrire un processus historique plutôt qu'offrir un vrai modèle pragmatique. Un exemple souvent cité est le modèle du « Science Push » théorisé par Vannevar Bush dans son livre « *Science : The Endless Frontier* » (Bush, 1945), qui partait du postulat que toute innovation dérivait nécessairement de la recherche scientifique. Ce modèle s'inscrit dans un contexte historique où les états investissaient massivement dans la recherche fondamentale après la seconde guerre mondiale et donc ne reflète pas vraiment la réalité du processus. Ces modèles théoriques ont pour effet de renforcer l'idée que l'innovation peut et doit être considérée comme linéaire alors qu'elle ne l'est pas du tout (Carlsson, Keane, Martin, 1976). En effet, l'innovation dépend de nombreuses variables exogènes et endogènes, comme la nature des matériaux utilisés, les dynamiques de marché, la législation, la structure organisationnelle de l'entreprise, le type de savoir nécessaire et ses spécificités ou encore le contexte social dans lequel on innove (Kline, Rosenberg, 1986).

Afin de clarifier ce que l'on entend par innovation, le manuel d'Oslo rédigé par l'Organisation de Coopération et de Développement économique propose la définition suivante³⁰³ : « l'introduction d'un produit (bien ou service), d'un procédé, d'un outil marketing ou d'une méthode organisationnelle, qu'ils soient nouveaux ou significativement améliorés, dans les usages routiniers de l'entreprise, l'organisation ou ses relations avec l'extérieur »³⁰⁴ (OCDE, 2005 : 46).

³⁰³ <http://www.oecd.org/fr/sti/inno/2367523.pdf>

³⁰⁴ « *The implementation of a new or significantly improved product (good or service), or process, a new marketing method, or a new organizational method in business practices, workplace organization or external relations* ».

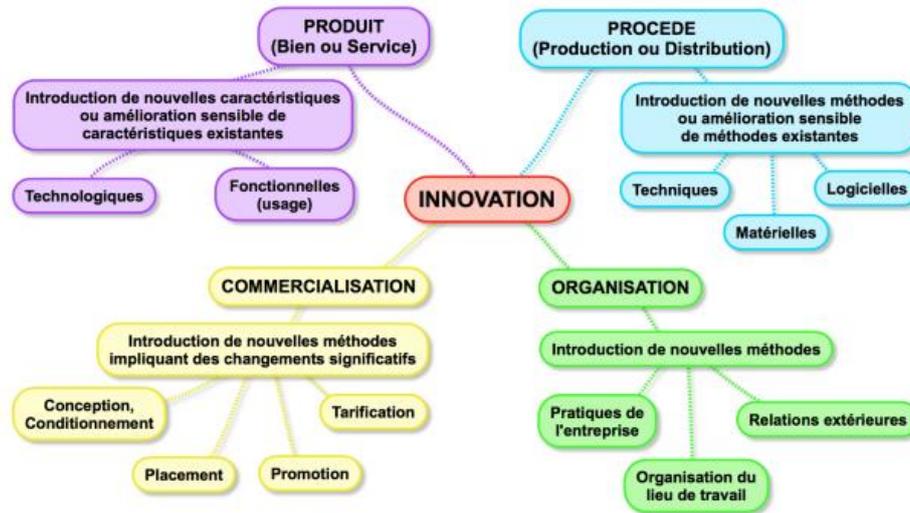


Fig. 1 : Les catégories d'innovation.
Figure construite à partir des définitions du Manuel d'Oslo (OCDE, 2005).

Le concept d'innovation est relativement fluide compte tenu de la pluralité des variables qui l'influencent. L'objectif est donc de mettre en place une grille de lecture fonctionnelle en identifiant les principaux types et catégories d'innovation communément acceptés selon le modèle suivant :

		Catégories d'innovation			
		produits	procédés	organisationnelle	commercialisation
Types d'innovation	adjacente				
	continue				
	disruptive				
	radical				

B. LES CATÉGORIES D'INNOVATION

Innovation de produit

L'innovation produit se concentre sur la nature même du produit ou service proposés par l'entreprise. Elle peut être de nature technologique ou encore sociale. On peut citer par exemple la miniaturisation des satellites, popularisée par Surrey Satellite Technology dans les années 1990, qui est venu directement concurrencer les constructeurs de satellites classiques. Les services proposés par la compagnie Satellite Applications Catapult, qui se décrit comme une 'organisation de recherche non lucrative' (*a not-for-profit research organisation*)³⁰⁵, adressés à des catégories de population ayant plus difficilement accès aux technologies spatiales, peuvent être considérés en soi comme de l'innovation sociale dans la mesure où ils répondent à des besoins sociaux insatisfaits.

³⁰⁵ <https://sa.catapult.org.uk/about-us/>

Innovation de procédé

L'innovation sur les procédés concerne les méthodes de production et de délivrance de services utilisés sur lesquelles l'entreprise se concentre pour renforcer sa compétitivité. Par exemple, la méthode de lancement « *hold and release* » (*maintenir et relâcher*) de Space-X, qui consiste à maintenir le lanceur sur la rampe de lancement afin d'opérer une vérification complète des systèmes à bord avant le décollage effectif, peut être considérée comme une innovation de procédé.

Innovation organisationnelle

L'innovation organisationnelle dérive de la structure même de l'entreprise. Un exemple de cette catégorie d'innovation est la façon dont Space-X a concentré son tissu industriel en Californie. En produisant ses fusées à un seul endroit, l'entreprise fait des économies de production car contrairement aux entreprises américaines comme ULA, elle n'est pas conditionnée par des contraintes politico-institutionnelles.

Innovation de commercialisation

L'innovation de commercialisation se caractérise par une méthode de vente qui sort de l'ordinaire. Spaceflight Industries, par exemple, coordonne le lancement de petits satellites en se positionnant en intermédiaire entre les compagnies de lancement et leurs clients.

C. LES TYPES D'INNOVATION

Innovation adjacente

Ce type d'innovation reprend le concept d'adjacence qui est une stratégie en gestion consistant à élargir le périmètre d'activité de l'entreprise tout en restant proche de son cœur de métier. En prenant appui sur les atouts principaux de l'entreprise, cette stratégie permet de promouvoir l'innovation en limitant au maximum le taux de risque encouru. Un exemple que l'on peut retrouver dans le secteur de l'Observation de la Terre est l'évolution des stratégies de certaines startups américaines, comme l'entreprise OmniEarth qui prévoyait initialement la mise en place de sa propre constellation de satellites mais a pris la décision stratégique de se concentrer exclusivement sur un de leurs domaines d'activité qui est l'analyse de données satellitaires.

Innovation continue

L'innovation continue, ou dite « incrémentale », décrit une dynamique d'innovation itérative et en constante progression par rapport aux standards d'avant et qui a tendance à s'institutionnaliser au sein de l'entreprise. L'initiative « *Artists in Residence* » de Planet est une stratégie d'innovation continue. L'entreprise accueille des artistes cinq fois par

an pour favoriser les interactions entre les employés et le monde de l'art. Cette stratégie d'innovation peut être interprétée à la lumière de la théorie CAK (concept/knowledge) qui consiste à stimuler la créativité et faire émerger de nouvelles idées en s'appropriant de nouvelles connaissances.

Innovation disruptive

L'innovation disruptive introduit un élément novateur appelé à perturber l'équilibre d'un marché et qui finit par remplacer une technologie dominante. Il est difficile d'en saisir toutes les implications sur le moment car une technologie disruptive peut mettre des années à s'introduire sur le marché. Les promesses de l'impression 3D dans le secteur des petits lanceurs semblent augurer l'essor d'une innovation disruptive même si ses applications restent encore limitées aujourd'hui. Le Massachusetts Institute of Technology a récemment testé avec succès des systèmes de propulsion entièrement imprimés 3D³⁰⁶. Le projet de l'entreprise Relativity Space de construire des petits lanceurs sans intervention humaine, à condition qu'il soit viable sur le marché, peut aussi être considéré comme innovation disruptive.

Innovation radicale

Une innovation radicale se caractérise par l'adoption rapide d'une innovation technologique qui a pour effet l'émergence d'un nouveau marché en créant une demande qui n'existait pas encore. Foster décrit le phénomène avec une courbe en S (Foster, 1986). Les limitations technologiques d'un produit réduisent sa rentabilité économique et poussent l'entreprise à innover et à élaborer des stratégies d'optimisation pour sa production. Une fois la structure de coût revisitée, l'entreprise va parallèlement investir dans sa stratégie marketing pour accompagner la pénétration de son produit ou service dans le marché. L'innovation radicale inclut donc une dimension marketing.



Fig. 1. Technology/Marketing S-Curve Phenomena (adapted from Foster 1986).

Compte tenu des énormes difficultés financières, techniques, légales que rencontrent les compagnies qui développent des micro lanceurs, il semble *a priori* compliqué d'identifier *stricto sensu* une innovation radicale dans ce type de développement technologique. Cela peut s'expliquer par les trajectoires technologiques adoptées par ces compagnies qui

³⁰⁶ <https://www.engadget.com/2017/04/30/mit-fires-3d-printed-plastic-rocket-motor/>

restent relativement conservatrices compte tenu des multiples barrières à l'entrée du marché du lancement et de l'ampleur des investissements à envisager pour mettre en place une innovation technologique. Le recouvrement des coûts de développement d'un petit lanceur est déjà en soi un défi particulièrement difficile à relever. À titre d'exemple, la croissance rapide de Space-X peut s'expliquer par le design du petit lanceur Falcon I qui n'avait, en soi, rien de novateur.

En conclusion, et comme toujours pour l'innovation, il est essentiel de se rappeler que c'est avant tout une notion relativement fluide et que donc l'exercice de caractérisation a aussi ses limites. Aujourd'hui, l'expansion rapide du digital remet sérieusement en question notre perception de l'innovation, qui semble muter vers d'autres modèles comme le *crowd sourcing*, c'est-à-dire la mise en commun d'informations et de compétences sur une plate-forme numérique qui met en relation les parties prenantes de l'innovation. Ces nouvelles façons d'innover démontrent une fois de plus la part importante d'incertitude qui entre dans l'équation des mécanismes d'innovation.

Annexe 8

BIBLIOGRAPHIE SUR L'INNOVATION

Anderson P., Tushman P.M. (1990) « Technological discontinuities and dominant designs: a cyclical model of technical change », in *Administrative Science Quarterly*, n. 35, pp. 604-633.

Arrow K. (1962) « Economic welfare and the allocation of resources for invention » in R. Nelson (eds.) *The Rate and Direction of Inventive Activity: Economic and Social Factors*, Princeton University Press, Princeton.

Christensen C.M. (1997) *The innovation's dilemma: when new technologies cause great firms to fail*, Harvard Business School Press, Boston, MA. Robertson, 1967

Carlsson, B., Keane, P., & Martin, J. B. (1976), « R & D organizations as learning systems », *Sloan Management Review* (spring).

Coccia M. (2005) « Measuring Intensity of Technological Change: The Seismic Approach », in *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 72, n. 2, pp. 117-144.

Dosi G. (1988) « Sources procedures and microeconomic effects of innovation », in *Journal of Economic Literature*, n. 26, pp. 1120-1171.

Fagerberg, J. (2005), 'Innovation a guide to the literature', Chapter 1, *Oxford Handbook of Innovation*, Oxford University Press

Freeman C., Clark J., Soete L. (1982) *Unemployment and Technical Innovation: A Study of Long Waves and Economic Development*, Frances Printer, London

Freeman C. (1984) « Prometheus unbound », in *Future*, n. 16, vol. 5, pp. 494-507

Garcia, R. and Calantone, R. (2002), « A critical look at technological innovation typology and innovativeness terminology: a literature review ». *Journal of Product Innovation Management*, 19: 110-132

Gilbert R., Newbery D. (1982) « Pre-emptive patenting and persistence of monopoly », in *American Economic Review*, 72, pp. 514-526.

Grossman J.B. (1970) « The Supreme Court and social change: a preliminary inquiry », in *American Behavioural Scientist*, n. 13, pp. 535- 551.

Kim, W., Mauborgne, R. (2005), *Blue Ocean Strategy: How to Create Uncontested Market Space and Make Competition Irrelevant*, Strategy, Harvard Business School Press

Kleinschmidt E.J., Cooper R.G. (1991) « The impact of product innovativeness on performance », in *Journal of Product Innovation Management*, n. 8, pp. 240-251. Wheelwright, Clark, 1992

Kotsemir, M. N., Abroskin, A., Meissner, D. (2013), « Innovation Concepts and Typology: An Evolutionary Discussion », Higher School of Economics Research Paper No. WP BRP 05/STI/2013

Kline, S.J., N. Rosenberg (1986), « Innovation: An overview », in LANDAU, R., ROSENBERG, N; (eds), *The Positive Sum Strategy*, Washington, National Academy Press

Maidique M.A., Zirger B.J. (1984) « A study of success, and failure in product innovation: the case of US electronics industry, in *IEEE Transaction on Engineering Management*, EM- 31, n. 4, pp. 192-203.

Mensch G. (1979), *Stalemate in Technology: Innovations Overcome the Depression*, Ballinger, NY.

Meyers P.W., Tucker F.G. (1989) « Defining role for logistics during routine and radical technological innovation » in *Journal of Academy of Marketing Science*, vol. 17, n. 1, pp. 73-82.

Norman R. (1971) « Organizational innovativeness: product variation, and reorientation », in *Administrative Science Quarterly*, n. 16, pp. 203-215.

Priest W.C., Hill C.T. (1980) *Identifying and assessing discrete technological innovations: an approach to output indicators*, National Science Foundation, Washington.

Rice M.P., Colarelli O'Connor G., Peters L.S., Morone J.B. (1998) « Managing discontinuous innovation », in *Research Technology Management*, vol. 41, n. 3, pp. 52-58.

Rothwell R., Gardiner P. (1988) « Reinovation and robust designs: producer and user benefits », in *Journal of Marketing*, vol. 3, n. 3, pp. 372-387.

Annexe 9

BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE

A Comparative Study on Space Technology in the World, 2015, Center for Research and Development Strategy (CRDS) of the Japan Science and Technology Agency, <https://www.jst.go.jp/crds/pdf/en/CRDS-FY2016-CR-02.pdf>

Boone T. R., Miller D. P., « Capability and Cost-Effectiveness of Launch Vehicles », *New Space*, vol.4, n°3 September 2016, p. 168-189

Canis B., *Commercial Space Industry Launches a New Phase*, Congressional Research Service Report, December 12, 2016, <https://fas.org/sgp/crs/space/R44708.pdf>

Crisp, N.H., Smith, K., Hollingsworth, P., « Launch and deployment of distributed small satellite systems », *Acta Astronautica*, Volume 114, September–October 2015, Pages 65–78

Da Fonseca e Silva R., Dawson S., *Understanding Strategic Decision Making in the Context of International Space Activities*, *Space Policy* n°12, 1996, p. 29-43

Davidian K., « Do « Commercial » Space Companies Exist? », *New Space*, Volume 4, Issue 4, December 2016 p. 269-285.

Davidian K., Foust J., Kaiser D., Christensen I., « Are Commercial Space Transportation Industries Emerging? », IAC-11-E6.2.7, https://swfound.org/media/199713/ic_iac_oct2011.pdf

Dillingham G. L., « Commercial Space, Industry Developments and FAA Challenges », Statement, United States Government Accountability Office, June, 22, 2016, <http://www.gao.gov/assets/680/677943.pdf>

Federal Aviation Administration, *Annual Compendium of Commercial Space Transportation: 2016*, January 2016, https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ast/media/2016_Compndium.pdf

Federal Aviation Administration, *Annual Compendium of Commercial Space Transportation: 2017*, January 2017 http://commercialspace.pbworks.com/w/file/fetch/115291906/2017_%20Compendium%20-%20Small.pdf

Foust J., « Technology's role in space innovation », *The Space Review*, Monday, August 12, 2013, <http://www.thespacereview.com/article/2348/1>

Freeland S., « Small Satellites: Regulatory Requirements and Challenges », United Nations / CNSA / APSCO Workshop on Space Law Beijing 17-20 November 2014, <http://www.unoosa.org/documents/pdf/spacelaw/activities/2014/pres04E.pdf>

Gallton Daniel À., *The Challenge of Small Satellite Systems to the Space Security Environment*, Thesis, Naval Postgraduate School Monterey, California, Mar 2012

« Global Small Satellite Market (By Type, By Application, By End-Use): Trends, Opportunities and Forecasts (2016-2021) », presentation by AZOTH Analytics, sept 2016, <https://fr.scribd.com/document/325911879/Global-Small-Satellite-Market-by-Type-By-Application-By-End-Use-Trends-Opportunities-and-Forecasts-2>

González À., *À Snapshot of Commercial Space*, Report, Center for Science and Technology Policy Research, University of Colorado Boulder, White Paper 2017-01, http://sciencepolicy.colorado.edu/admin/publication_files/white_papers/2017.01.pdf

- Harrison T. and al, *Implications of Ultra-Low-Cost Access to Space*, CSIS, 2017, 78 pages, https://csis-prod.s3.amazonaws.com/s3fs-public/publication/170316_Harrison_UltraLow-CostAccess_Web.pdf?LPQ6EI200hsZglqXWA8bYrdWflQ4ucPJ
- Hampson J., *The Future of Space Commercialization*, Research paper, The Niskanen Center, January 2017, 37 pages
<https://niskanencenter.org/wpcontent/uploads/2017/01/TheFutureofSpaceCommercializationFinal.pdf>
- Hayward K., *The Economics of Launch Vehicles: Towards a New Business Model*, Part of the series Yearbook on Space Policy, Yearbook on Space Policy 2015, Springer, p. 247-256
- Hertzfeld H., « Le secteur privé quel rôle dans la conquête spatiale de demain ? », *Les Grands Dossiers de Diplomatie*, n° 34, août-septembre 2016, p. 34-37, [https://spi.elliott.gwu.edu/sites/spi.elliott.gwu.edu/files/downloads/Articles/Hertzfeld %20Le %20secteur %20priv %C3 %A9 %20quel %20r %C3 %B4le %20dans %20la %20conqu %C3 %AAt %20spatiale %20de %20demain.pdf](https://spi.elliott.gwu.edu/sites/spi.elliott.gwu.edu/files/downloads/Articles/Hertzfeld%20Le%20secteur%20priv%C3%A9%20quel%20r%C3%B4le%20dans%20la%20conqu%C3%AAt%20spatiale%20de%20demain.pdf)
- House of Commons, Science and Technology Committee, *Satellites and space*, Third Report of Session 2016–17, UK, June 2016, <https://www.publications.parliament.uk/pa/cm201617/cmselect/cmsctech/160/160.pdf>
- ISU, *Guidebook on Small satellite Programs*, Final Report, International Space University, Space Studies Program 2011, Graz, Autriche, 97 pages, https://isulibrary.isunet.edu/opac/doc_num.php?explnum_id=279
- ISU, *Open Innovation in Space*, Final Report, International Space University, Space Studies Program 2014, Montréal, 119 pages, https://isulibrary.isunet.edu/opac/doc_num.php?explnum_id=655
- Johnson Christopher, « Small Satellite Technology and Space Capability », Secure World Foundation, UNISPACE+50 – High Level Forum, November 20-24, 2016, https://swfound.org/media/205671/cj_unhlfsmallsatellitetechnbreakout_22112016.pdf
- Johnson Christopher, « Legal and Regulatory Considerations of Small Satellite Projects », in *Small Satellite Program Guide*, edited by Victoria Alonsoperez, Ran Qedar, CEI Publications, 2014, chapter 5, 44 pages, https://swfound.org/media/188605/small_satellite_program_guide_-_chapter_5_-_legal_and_regulatory_considerations_by_chris_johnson.pdf
- Karpov À., Ivanov R., Kovalevsky M., « Air Launch Aerospace International Project », 27th International Congress of the Aeronautical Sciences, ICAS 2010, http://www.icas.org/ICAS_ARCHIVE/ICAS2010/PAPERS/754.PDF
- Mackenzie À.J., « The Small Launch Industry is about to be Amazoned », *The Space Review*, 10 avril 2017, <http://www.thespacereview.com/article/3213/1>
- Marboe I., *Small Satellites: Regulatory Challenges and Chances*, Brill, Nijhoff, 2016, 396 pages
- Messier D., « À Plethora of Small Satellite Launchers », *Parabolic Arc*, October 3, 2016 <http://www.parabolicarc.com/2016/10/03/plethora-small-sat-launchers/>
- NASA, *Emerging Space : The Evolving Landscape of 21st Century American Spaceflight*, NASA Office of the Chief Technologist, 2014, https://www.nasa.gov/sites/default/files/files/Emerging_Space_Report.pdf
- OECD, *Space and Innovation*, octobre 2016, 112 pages
- Shaw À., Rosher P., « Micro Satellites: The Smaller the Satellites, the Bigger the Challenges? », *Air and Space Law*, Vol.41, Issue 4/5, 2016, pp. 311–328

Start-Up Space: Rising Investment in Commercial Space Ventures, Tauri Group, January 2016, 52 pages, https://brycotech.com/downloads/Start_Up_Space.pdf

Tauri Group, *Start-Up Space Rising Investment in Commercial Space Ventures*, January 2016, <https://brycotech.com/reports.html>

Van Kleef À.J.P. and al., *Innovative Small Launcher*, Report n° NLR-TP-2015-472, Netherlands Aerospace Centre, November, 2015, 30 pages, <http://reports.nlr.nl:8080/xmlui/bitstream/handle/10921/1035/TP-2015-472.pdf?sequence=1>

Yuzhnoye, « General Presentation of Yuzhnoye SDO Activities in Rocket Space Domain », 2014, [http://www.light-tps.eu/downloads/meetings/2014-05_kickoff/partners/3 %20- %20YUZHNOYE %20- %20General %20presentation.pdf](http://www.light-tps.eu/downloads/meetings/2014-05_kickoff/partners/3%20-%20YUZHNOYE%20-%20General%20presentation.pdf)

2016 State of the Satellite Industry Report, Prepared by the Tauri Group for the Satellite Industry Association in 2016, <https://brycotech.com/reports.html>