

SECURE WORLD FOUNDATION

MANUEL DES NOUVEAUX ACTEURS DU SECTEUR SPATIAL



Secure World Foundation

Manuel des Nouveaux Acteurs du Secteur Spatial

Sous la direction de Christopher D. Johnson

Les informations contenues aux présentes ne peuvent en aucun cas être interprétées
comme des conseils juridiques portant sur des situations particulières.
Les lecteurs sont responsables de s'adresser à leurs juristes en vue d'obtenir de telles
orientations le cas échéant. Le présent ouvrage a été rédigé
exclusivement à titre informatif.

Le Manuel des nouveaux acteurs de l'espace de la Secure World Foundation a été publié
sous une licence Creative Commons « Attribution-NonCommercial-NoDerivatives
4.0 International

(CC BY NC ND 4.0) ».
ISBN : 978 0 692 45413 8

TABLE DES MATIÈRES

ABOUT SECURE WORLD FOUNDATION	vi
ACKNOWLEDGMENTS	vii
FOREWORD — Michael K. Simpson, PhD	viii
HOW TO USE THIS BOOK	x

LIST OF FIGURES

Figure 1 Signing of the Outer Space Treaty.....	4
Figure 2 Growth in the Number of States Party to the Space Law Treaties.....	7
Figure 3 OOSA International Registry Form.....	13
Figure 4 ITU World Regions.....	18
Figure 5 The Electromagnetic Spectrum, Including Uses Along the Spectrum.....	20
Figure 6 Space Debris 1 cm and Larger in Orbit.....	37
Figure 7 Protected Regions in Space.....	36
Figure 8 The UK Satellite Applications Catapult.....	75
Figure 9 Fishbone Diagram.....	133

LIST OF TABLES

Table 1 The Core Treaties on Space.....	6
Table 2 Planetary Protection Categories.....	48
Table 3 National Registries of Space Objects.....	81
Table 4 Indemnification Regime of Some Spacefaring States.....	83
Table 5 Common Contract Types.....	91
Table 6 Flight Safety Analyses.....	115
Table 7 Examples of CA Screening Volumes.....	125
Table 8 International Orbital Debris Limitation Documents.....	135
Table 9 End-of-Life Disposal Actions.....	139

CHAPTER ONE:	
INTRODUCTION — Tanja Masson-Zwaan	2
THE INTERNATIONAL FRAMEWORK FOR SPACE ACTIVITIES	3
Freedom and Responsibility	3
Freedom of Exploration and Use of Space	3
The Core Treaties	7
Peaceful Purposes	8
International State Responsibility	9
Registration of Space Objects	11
UNGA Resolution 62/101	12
National Registration	12
Suborbital Launches	16
International Frequency Management	17
World Radiocommunication Conference	21
Space Frequency Coordination Group	21
Laser Communications	22
Remote Sensing	22
International Standards	24
International Organization for Standardization	24
ITU Telecommunication Standardization Sector	25
Consultative Committee for Space Data Systems	25
International Committee on Global Navigation Satellite Systems	26
United Nations Committee of Experts on Global Geospatial Information Management	26
International Export Control	27
International Liability	29
Dispute Settlement	31
International Court of Justice	32
Arbitration and Mediation	32
Environmental Issues	33
Protection of the Earth Environment	33
Back-Contamination of Earth	34
Use of Nuclear Power Sources in Space	35
Space Debris	36
Advanced Issues	41
Boundary Between Airspace and Outer Space	41
Space Traffic Management	44
Status of Humans in Space	45
Protecting Celestial Bodies	46

Space Resources.....	49
Relevant Organizations.....	51
International Intergovernmental Organizations.....	51
Non-Governmental Organizations.....	55
 CHAPTER TWO:	
INTRODUCTION — Mazlan Othman, PhD.....	60
NATIONAL SPACE POLICY AND ADMINISTRATION.....	61
Public Policy.....	61
Rationales, Objectives, and Principles.....	62
Case Study: United Arab Emirates Mars Mission.....	63
Government Roles and Responsibilities.....	65
Role of Space in Science, Technology, and Innovation Policy.....	66
International Cooperation.....	68
Export Control and Technology Transfer.....	70
Government Relationship with the Private Sector.....	71
Case Study: The United Kingdom Satellite Applications Catapult.....	74
Property Rights.....	76
Public Administration and National Oversight.....	78
National Regulators.....	78
Licensing.....	79
National Registries of Space Objects.....	79
Insurance Requirements.....	82
Waivers.....	82
National Frequency Administration and Broadcasting.....	84
Administration of Export Controls and Technology-Transfer.....	85
Case Study: Export Controls in the United States.....	85
Congestion in Space.....	87
Case Study: Space Debris Policy and Administration in the United States.....	89
Government Contracting.....	90
Dispute Settlement Clauses.....	90
Recourse to Domestic Courts.....	92
In-Depth Analysis: Remote Sensing Policy and Administration.....	92
Remote Sensing Policy.....	93
Oversight of Non-Government Activities.....	94
Data Policies.....	95
Broader Policy Context.....	97

CHAPTER THREE:

INTRODUCTION — Greg Wyler	98
RESPONSIBLE OPERATIONS IN SPACE	99
Pre-Launch	99
Licensing	99
Licensing Requirements	100
Frequency Licensing	100
Remote Sensing Licenses	101
Launch and Re-Entry Licenses	102
The Licensing Process: Getting a License	103
Launch Vehicle Selection	104
Integrating Multiple Payloads	105
Launch Services Agreement	107
Insurance	109
Pre-Launch Payload Testing	109
The Links Between Testing and Anomaly Mitigation	111
Launch Mission Assurance	112
Launch	113
Terrestrial Environmental Safety Considerations	114
Ground Safety Considerations	116
Range Safety During Launch Operations	117
Public Risk Criteria	118
Flight Termination System	118
Flight Safety Plan	118
Safety-Critical Preflight Operations	119
On-Orbit Activities	120
Satellite Orbital Determination and Tracking	120
Orbit Propagation	122
Two Techniques for Combining Observations into a State	123
Conjunction Assessment Procedures and Standards	124
Operational Conjunction Assessment	126
Risk Assessment and Avoiding Collisions	130
Space Weather	132
Satellite Anomaly Recognition, Response, and Recovery	134
Anomaly Recognition	134
Anomaly Response	136
Anomaly Recovery and Analysis	137
Fishbone Diagrams	139

End-of-Life.....140

 Post-Mission Disposal.....140

 Launch Vehicle and Satellite Passivation.....141

 Geosynchronous Region Disposal.....142

 Passing Through LEO Disposal.....143

 Atmospheric Re-Entry and Risk Assessment.....144

 Re-Entry.....145

 Re-Entry Threat Statistics.....146

 Calculating Re-Entry Risk.....146

 Design for Demise.....147

 Re-Entry Predictions.....147

 Planning a Controlled Re-Entry.....148

INDEX.....150

LIST OF ABBREVIATIONS.....156

À PROPOS DE SECURE WORLD FOUNDATION

Secure World Foundation étudie les usages sûrs, durables et pacifiques de l'espace dans une perspective de stabilité mondiale. Nous coopérons avec les pouvoirs publics, le secteur industriel, les organisations internationales et la société civile pour concevoir et défendre des idées et des démarches de collaboration internationale contribuant à des utilisations sûres, durables et pacifiques de l'espace extra-atmosphérique.

Cynda Collins Arsenault, *fondatrice*

Michael K. Simpson, PhD, *directeur exécutif*

Lisa Croy, *directrice des opérations*

Victoria Samson, *directrice du bureau de Washington*

Ian Christensen, *responsable de projets*

Christopher D. Johnson, *conseiller en matière de droit spatial*

Nicole Nir, *coordonnatrice des programmes et des communications*

Brian Weeden, PhD, *directeur de la planification des programmes*

Krystal Wilson, *responsable de projets*

Joshua Wolny, *assistant administratif du bureau de Washington*

Comité consultatif

M. l'ambassadeur **Ciro Arévalo Yepes**

Richard DalBello

Peter Marquez

Tanja Masson-Zwaan

Mazlan Othman

Xavier Pasco

Rajeswari Rajagopalan

Major-General Jay Santee



www.swfound.org

REMERCIEMENTS

Au cours de la rédaction du présent manuel, Secure World Foundation a reçu l'aide précieuse de nombreux experts issus des pouvoirs publics, d'agences spatiales, du secteur privé et du monde universitaire. Ce document reflète la position et les opinions de Secure World Foundation et non celles des experts consultés. Nous endossons l'entière responsabilité en cas d'erreur ou d'omission. Nous sommes toutefois extrêmement reconnaissants envers les personnes suivantes pour leurs apports et leurs perspectives.

Participants au premier atelier

P. J. Blount, Dennis Burnett, Matt Duncan, Andrew D'Uva, Stephen Earle, Michael Gleason, Henry Hertzfeld, Karl Kensinger, Rich Leshner, Peter Marquez, Steve Mirmina, Clay Mowry, Mark Mulholland, Myland Pride, Ben Reed, Franceska Schroeder, Glenn Tallia, Gary Thatcher et Jessica Young.

Participants au deuxième atelier

Kahina Aoudia, Paul Frakes, Talal Al Kaissi, Jonathan Garon, Rich Leshner, Mike Lindsay, Philippe Moreels, Nobu Okada, Kevin Pomfret, Rajeswari Rajagopalan et Kazuto Suzuki.

Experts externes

Laura Delgado López, Matt Duncan, Andrea Harrington, T. S. Kelso, Tanja Masson-Zwaan, T. J. Mathieson, Gerald Oberst, Mazlan Othman, Greg Wyler et Satellite Associates.

Traducteur

Julien Ramina

Réviseur de traduction

Gerard Brachet
Nicolas Maubert
Monique Moury
Xavier Pasco
Ivan Petitville



Michael K. Simpson, PhD

Directeur exécutif
Secure World Foundation

AVANT-PROPOS

Attisée par les tensions entre les États-Unis et l'Union soviétique pendant la guerre froide, la course à l'espace a commencé voici presque 60 ans. Chaque puissance s'efforçait par tous les moyens d'accomplir de nouveaux exploits et de démontrer sa supériorité. Bien des choses ont changé depuis lors. Les acteurs du domaine spatial rassemblent à présent un grand nombre d'entités nationales et non gouvernementales aux logiques, activités et objectifs très diversifiés. Plus de 70 États, sociétés commerciales et organisations internationales exploitent actuellement un nombre de satellites en orbite terrestre qui dépasse les 1 500. Avec la généralisation des technologies spatiales et la réduction des obstacles techniques et financiers, le nombre d'acteurs ne cesse d'augmenter.

L'ouverture de l'accès à l'espace présente autant d'avantages que d'inconvénients. Elle dynamise vivement l'innovation technologique, contribue à la baisse des coûts et facilite l'accès aux capacités et aux services irremplaçables qu'offrent les satellites. Cependant, la croissance fulgurante des activités spatiales et l'afflux de nouveaux acteurs pourraient exacerber un grand nombre de risques qui pèsent sur une utilisation durable et pérenne de l'espace. L'encombrement orbital, l'interférence des fréquences radio, ou encore de potentiels incidents dans l'espace susceptibles de faire naître ou d'exacerber des tensions géopolitiques constituent de sérieuses menaces.

Le nombre croissant de nouveaux acteurs risque-t-il de déstabiliser l'environnement spatial et de créer de nouvelles tensions entre les nations ? L'élargissement pacifique de l'accès à l'espace permettra-t-il de stimuler l'inventivité et le développement industriel ? En intégrant le cercle des acteurs du domaine spatial, les nouveaux arrivants devront considérer les questions suivantes :

- Dans quel cadre juridique national et international s'inscrivent leurs activités ?
- Quelles sont les autorités responsables de leur régulation ? Quels sont leurs droits et leurs responsabilités dans l'espace ?
- Comment leur responsabilité peut-elle être engagée concernant leurs activités orbitales ?
- Comment les pouvoirs publics contrôlent-ils les activités spatiales du secteur privé ?
- Quels sont les objectifs et les intérêts d'une politique spatiale nationale ?
- Quels mécanismes permettent de coordonner les activités spatiales nationales entre les différentes agences et entités ?
- Quelles sont les procédures opératoires standardisées pour les propriétaires et les exploitants sur les orbites choisies ?

Secure World Foundation a l'honneur de proposer ce *Manuel des nouveaux acteurs de l'espace*. Il est destiné à deux catégories de nouveaux acteurs : les autorités publiques souhaitant développer des politiques spatiales et des réglementations nationales, et les start-up, les universités et autres entités non gouvernementales souhaitant se lancer dans les activités spatiales.

L'objectif est de dresser un panorama général des principes fondamentaux, des réglementations, des normes et des pratiques vertueuses qui encadrent des activités pacifiques, sûres et responsables dans l'espace. En effet, seule une approche pragmatique et coopérative de l'espace pourra garantir à l'ensemble des États et des peuples la pleine jouissance de tous les avantages d'une présence active hors de notre atmosphère.

COMMENT UTILISER CE MANUEL

Ce manuel est composé de trois chapitres complémentaires offrant aux nouveaux acteurs une vaste perspective du domaine spatial. Certains chapitres et certaines sections peuvent s'avérer particulièrement pertinents selon la nature des activités spatiales envisagées et le rôle à jouer.

Le chapitre UN expose le cadre juridique et politique international applicable aux activités spatiales et présente les sujets les plus pertinents en matière de droit international de l'espace, ainsi que la façon dont ils s'appliquent aux États.

Le chapitre DEUX indique comment les politiques et réglementations nationales s'appliquent au domaine spatial. Il décrit les logiques qui sous-tendent les politiques spatiales et évoque en particulier les moyens de diffuser ses objectifs dans le monde et d'orienter les intervenants dans son propre pays. Ce chapitre traite également des aspects courants des législations spatiales nationales. Les États sont directement responsables de leurs activités spatiales, y compris lorsqu'elles sont menées par des entités non gouvernementales comme des entreprises ou des universités. Les politiques et les réglementations spatiales nationales sont donc éminemment importantes à comprendre pour les pouvoirs publics comme pour les organismes indépendants. Ce chapitre s'adresse tout particulièrement aux États qui se dotent de moyens d'accès à l'espace et qui rédigent leurs politiques spatiales.

Le chapitre TROIS porte sur une exploitation responsable de l'espace. Il donne un aperçu des processus : choix et coordination des fréquences avant le lancement, évaluation de la charge utile, contrats de services de mise en orbite entre opérateurs de lancement et exploitants, enjeux d'une mission et de la fin de vie des équipements. Plus technique que les deux précédents, ce dernier chapitre étudie les aspects opérationnels des activités spatiales. Les nouveaux acteurs pourront y consacrer une attention particulière après s'être familiarisés avec les enjeux politiques et juridiques nationaux et internationaux.

Si les ouvrages de référence relatifs aux différents sujets abordés ici peuvent atteindre plusieurs centaines de pages, ce manuel vise à la concision et à la simplicité de lecture. Loin d'être une somme exhaustive reproduisant chacune des facettes et des nuances d'un domaine extrêmement riche, ce manuel a pour ambition de présenter un panorama complet s'appuyant essentiellement sur les principes et enjeux fondamentaux de l'utilisation de l'espace.



Tanja Masson-Zwaan

Présidente émérite

Institut international
de droit spatial

INTRODUCTION

L'espace change. Les obstacles qui entravaient l'accès à l'espace se réduisent. La baisse des coûts, des besoins d'infrastructures et des difficultés technologiques contribue à placer les activités spatiales à la portée d'un nombre d'opérateurs en constante augmentation. Dans le même temps, des programmes plus modestes exigeant moins de personnel permettent à de plus en plus d'États et d'organisations de participer aux projets spatiaux. Cependant, indépendamment de l'ampleur d'un projet, le cadre juridique et réglementaire international actuel fixe les règles de toutes les activités spatiales. Vieux de plusieurs décennies, ce régime est le fruit d'un contexte géopolitique bien différent. Certains l'estiment mal adapté aux cinquante années à venir. Il est parfois jugé trop restrictif, ou ses exigences pas assez claires.

L'environnement juridique sera sans nul doute amené à évoluer dans les décennies et même les années à venir, de façon à favoriser la croissance et le progrès des activités spatiales, espérons-le. Pour l'heure, il semble essentiel de bien appréhender le cadre international en vigueur afin de comprendre comment s'y inscrit tout projet spatial. Cet environnement repose sur certains éléments du droit international général, auxquels s'ajoutent des traités portant spécifiquement sur les activités spatiales, ainsi que diverses résolutions des Nations Unies et des normes émises par des groupes de travail comme l'Organisation internationale de normalisation (ISO). Tout nouvel acteur du domaine spatial, qu'il s'agisse d'un État souverain élargissant ses capacités, d'une nouvelle société privée à visée commerciale ou encore d'un centre universitaire ou de recherche, doit impérativement maîtriser le cadre international présenté dans ce chapitre.

Le chapitre UN est consacré au cadre juridique international, qui repose en premier lieu sur les droits et obligations du Traité sur l'espace extra-atmosphérique (OST) et sur les accords spatiaux suivants qui l'élargissent et le complètent, notamment en matière de responsabilité des États et d'immatriculation des objets spatiaux. Dans un deuxième temps, ce chapitre traite de la gestion internationale des fréquences, ainsi que de la télédétection, des normes de radiodiffusion et des mesures internationales de contrôle des exportations. S'ensuit une réflexion sur les responsabilités des États et les diverses voies de règlement des différends.

Diverses problématiques environnementales internationales sont ensuite étudiées, comme la protection de l'environnement terrien, la contamination de la Terre à la suite de missions spatiales, l'utilisation de sources d'énergie nucléaires dans l'espace, les débris spatiaux et la protection des corps célestes. Le chapitre se conclut par l'analyse de questions plus complexes, notamment les sujets non résolus, comme l'absence de définition commune des limites de l'espace extra-atmosphérique, le statut et la protection juridiques des êtres humains dans l'espace et les possibilités d'exploitation de ressources spatiales.

Toute activité spatiale repose sur l'étude et la compréhension de ce cadre international, à la fois pour les nouveaux acteurs étatiques qui visent à acquérir ou élargir leurs compétences spatiales et pour les intervenants non étatiques évoluant avec précaution pour bien comprendre les processus de licence et les réglementations.

LIBERTÉ ET RESPONSABILITÉ

Trois principes essentiels sont au cœur du cadre international des activités spatiales : la liberté d'exploration et d'utilisation de l'espace, les fins pacifiques et la responsabilité des États. Ces principes, tels qu'énoncés dans les cinq traités fondamentaux qui définissent les bases du droit international de l'espace, se reflètent dans de nombreux autres dispositifs juridiques et politiques qui façonnent le cadre international des activités spatiales. Les sections suivantes donnent un aperçu de chacun d'entre eux.

La liberté d'exploration et d'utilisation de l'espace

L'espace extra-atmosphérique est librement ouvert à l'exploration. Aucun État ni

aucune nation ne peut limiter l'accès légitime d'un autre État à l'espace pour des fins pacifiques. Cette liberté est consacrée par le texte juridique le plus significatif en matière de droit de l'espace : le Traité sur les principes régissant les activités des États en matière d'exploration et d'utilisation de l'espace extra-atmosphérique, y compris la Lune et les autres corps célestes, plus communément appelé Traité sur l'espace extra-atmosphérique.



Figure 1 – Signature du Traité sur l'espace extra-atmosphérique. L'ambassadeur de l'Union soviétique Anatoli Dobrynine, l'ambassadeur du Royaume-Uni Sir Patrick Dean, l'ambassadeur des États-Unis Arthur J. Goldberg, le président des États-Unis Lyndon B. Johnson et diverses autres personnalités assistent à la signature du Traité sur l'espace extra-atmosphérique par le secrétaire d'État américain Dean Rusk le 27 janvier 1967, à Washington. Source : Bureau des affaires spatiales

Comme tous les textes de cette nature, le Traité sur l'espace extra-atmosphérique cherche un compromis entre droits et obligations. Les libertés d'explorer et d'utiliser l'espace sont contrebalancées par des obligations énumérées tout au long du traité. Celles-ci peuvent exiger la mise en place de certaines mesures par un État, ou au contraire interdire certains actes. L'article premier du Traité sur l'espace extra-atmosphérique énumère les libertés essentielles:

« L'espace extra-atmosphérique, y compris la Lune et les autres corps célestes, peut être exploré et utilisé librement par tous les États sans aucune discrimination, dans des conditions d'égalité et conformément au droit international, toutes les régions des corps célestes devant être librement accessibles. »

Ce libre accès signifie que les acteurs émergents disposent exactement des mêmes droits à l'exploration et à l'utilisation à des fins pacifiques que les agences spatiales

bien établies. La toute première clause de l'article premier indique également explicitement que les activités d'exploration et d'utilisation de l'espace extra-atmosphérique sont « l'apanage de l'humanité tout entière ».

Le Traité sur l'espace extra-atmosphérique précise par ailleurs que « [l]es recherches scientifiques sont libres dans l'espace extra-atmosphérique, y compris la Lune et les autres corps célestes, et [que] les États doivent faciliter et encourager la coopération internationale dans ces recherches. » La nature même de ce traité encourage la coopération internationale et la recherche scientifique comme moyens de promouvoir la paix et la stabilité parmi l'ensemble des nations.

Comme dans la plupart des traités internationaux, le préambule du Traité sur l'espace extra-atmosphérique ne contient pas de formules exécutoires qui établissent des droits, des obligations ou des interdictions. Il décrit plutôt l'objet et les finalités du traité : le sujet concerné, la raison pour laquelle le traité est rédigé et ce qu'il vise à établir. Le préambule explique les motifs et les aspirations qui ont présidé à la création de cet instrument, en formalisant les motivations des États :

- Reconnaissant l'intérêt que présente pour l'humanité tout entière le progrès de l'exploration et de l'utilisation de l'espace extra-atmosphérique à des fins pacifiques,
- Estimant que l'exploration et l'utilisation de l'espace extra-atmosphérique devraient s'effectuer pour le bien de tous les peuples, quel que soit le stade de leur développement économique ou scientifique,
- Désireux de contribuer au développement d'une large coopération internationale en ce qui concerne les aspects scientifiques aussi bien que juridiques de l'exploration et de l'utilisation de l'espace extra-atmosphérique à des fins pacifiques,
- Estimant que cette coopération contribuera à développer la compréhension mutuelle et à consolider les relations amicales entre les États et entre les peuples.

Ces convictions exprimées dans le préambule du Traité sur l'espace extra-atmosphérique reflètent les intentions des rédacteurs de créer ce nouvel instrument juridique international. Tout élément du droit international de l'espace doit être interprété selon les intentions et les aspirations qui ont mené à la rédaction de ce traité. Aucune interprétation du droit spatial (que ce droit soit national ou international) ne doit contourner, subvertir ou s'opposer aux motifs et objectifs énumérés plus haut. Du reste, toute interprétation valide d'un quelconque article

de ce traité doit impérativement refléter ces objectifs, s’y conformer et y contribuer. Ces aspirations rassemblées dans le préambule font partie intégrante du traité. Il est essentiel de les garder toujours à l’esprit lors de réflexions sur le libre accès à l’espace ou l’exploration de celui-ci, ou encore lors de la participation à toute autre activité ou utilisation de l’espace.

Les termes « exploration » et « utilisation » figurent d’ailleurs dans le titre même du traité. L’utilisation de l’espace extra-atmosphérique, et notamment de la Lune et des autres corps célestes, a été envisagée par les rédacteurs et les négociateurs du traité. Cette notion relève de la liberté d’accès, d’exploration et d’utilisation telle que codifiée à l’article I. Rappelons que la liberté d’explorer l’espace extra-atmosphérique appartient à tous les États et, à travers eux, à tous les peuples du monde. Aucun État ne peut légalement empêcher ou limiter un nouvel entrant, quel qu’il soit, de participer à des activités spatiales pacifiques.

Si de nombreux traités abordent indirectement le domaine de l’espace, cinq traités fondamentaux régissent précisément les activités spatiales (tableau 1).

The Core Treaties on Space			
Treaty	Adoption by General Assembly	Entered into Force	Number of Ratifying States as of April 2017
Treaty on Principles Governing the Activities of States in the Exploration and Use of Outer Space, including the moon and Other Celestial Bodies (<i>Outer Space Treaty</i>)	1966	1967	105
Agreement on the Rescue of Astronauts, the Return of Astronauts and the Return of Objects Launched into Outer Space (<i>Astronaut Agreement</i>)	1967	1968	95
Convention on International Liability for Damage Caused by Space Objects (<i>Liability Convention</i>)	1971	1972	94
Convention on Registration of Objects Launched into Outer Space (<i>Registration Convention</i>)	1974	1976	63
Agreement Governing the Activities of States on the Moon and Other Celestial Bodies (<i>Moon Agreement</i>)	1979	1984	17

Tableau 1 – Les traités fondamentaux sur l’espace

Les traités fondamentaux

Les traités fondamentaux sur l'espace ont été négociés et rédigés par le Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique (COPUOS), un organe permanent composé d'États membres de l'Organisation des Nations Unies (ONU) qui étudie les aspects politiques, juridiques et scientifiques des activités spatiales depuis leurs débuts. Les titres des traités énoncés au tableau 1 illustrent leurs objets essentiels. Ils reprennent en grande partie les dispositions de l'acte fondateur, le Traité sur l'espace extra-atmosphérique, les élaborent et les affinent. L'Accord sur le sauvetage de 1968 améliore et élargit les dispositions relatives à la protection des astronautes. Quant à la Convention sur la responsabilité de 1972, elle développe les modalités de responsabilité financière en cas de dommages liés au lancement et à l'exploitation des objets spatiaux. Cette convention établit la responsabilité absolue en cas de préjudice matériel sur la surface terrestre ou sur un engin en vol et elle définit un régime de responsabilité pour faute concernant les objets spatiaux dans l'espace extra-atmosphérique. La Convention sur l'immatriculation de 1975 impose à la fois l'immatriculation internationale des objets spatiaux et la création de registres nationaux à ce sujet.

La figure 2 illustre l'adhésion progressive des États aux traités fondamentaux, ainsi que l'attractivité relative de chaque instrument par rapport aux autres. Tandis que tous ces documents ont été rédigés du milieu des années 1960 à la fin des années 1970, cette époque d'intense activité législative par l'Organisation des Nations Unies est révolue. Au cours des décennies suivantes, c'est par la voie de résolutions de son Assemblée générale que l'ONU a établi des principes sur divers sujets connexes liés à l'espace.

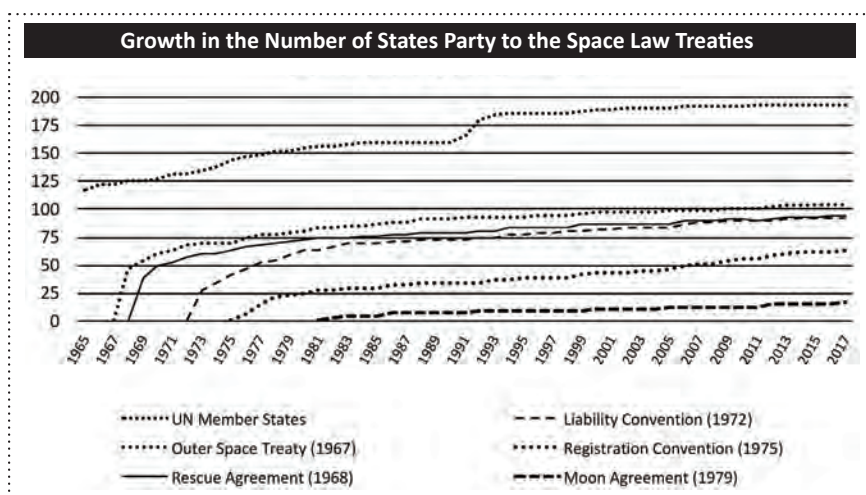


Figure 2 – Adhésion progressive des États aux traités fondamentaux sur l'espace.
Source: Secure World Foundation.

L'article III du Traité sur l'espace extra-atmosphérique intègre le droit spatial au cadre plus général du droit international. En conséquence, les autres sources de droit international public, Charte des Nations Unies incluse, influent sur le droit de l'espace. Les pratiques des États, ainsi que les principes généraux du droit, sont également valides et souvent applicables. Par exemple, un des principes du droit international général peut être résumé ainsi : « ce qui n'est pas explicitement interdit est autorisé ». Ces libertés explicites et leur appartenance au cadre plus large du droit international créent ainsi un vaste champ de libertés étatiques dans l'espace extra-atmosphérique, assorties de seulement quelques interdictions juridiques précises et explicitement codifiées.

Pour tout État souhaitant s'engager dans des activités spatiales, la signature et la ratification des traités fondamentaux traduisent la compréhension et l'acceptation de ses droits et obligations en vertu du droit international de l'espace. Cette démarche atteste du sérieux de son approche visant à commencer des activités spatiales. Elle démontre la volonté de devenir un acteur responsable et respectueux du droit, tout en certifiant son « adhésion au club » des puissances spatiales.

La notion de fins pacifiques

L'article IV du Traité sur l'espace extra-atmosphérique requiert des États qu'ils s'engagent à ne mettre sur orbite autour de la terre aucun objet porteur d'armes nucléaires ou de tout autre type d'armes de destruction massive, à ne pas installer de telles armes sur des corps célestes. Cet article dispose également que la lune et les autres corps célestes doivent être exclusivement utilisés à des fins pacifiques. Il interdit ensuite sur les corps célestes l'aménagement de bases et installations militaires et de fortifications et y proscrit aussi les essais d'armes de tous types et l'exécution de manœuvres militaires. Un accord international antérieur, le Traité d'interdiction des essais nucléaires de 1963, interdit également de tester ou de faire exploser des armes nucléaires au-delà des limites de l'atmosphère, y compris dans l'espace extra-atmosphérique.

Un débat fait rage sur la définition exacte des fins pacifiques. Deux interprétations principales sont invoquées : si l'une affirme que les fins pacifiques font référence à des activités « non militaires » à tous égards

Les activités spatiales ont toujours été intimement liées au domaine militaire et à la sûreté. Véritable traité fondateur sur la sécurité négocié entre les puissances de la guerre froide, le Traité sur l'espace extra-atmosphérique anticipe le double usage des moyens spatiaux. Depuis l'entrée en vigueur du traité, un débat fait rage sur la définition exacte des fins pacifiques. Deux interprétations principales sont invoquées : si l'une affirme que les fins pacifiques font référence à des activités « non militaires » à tous égards, l'autre englobe toute action « non agressive ». Cette deuxième interprétation s'est progressivement imposée au plus grand nombre. Cependant, les interdictions explicites énoncées plus haut restent.

D'autres sources de droit international s'appliquent également aux activités spatiales par leur intégration à l'article III du Traité sur l'espace extra-atmosphérique. En conséquence, il reste interdit aux États membres des Nations Unies de menacer leurs pairs de l'emploi de la force ou de recourir à celle-ci, y compris dans l'espace extra-atmosphérique. L'article 2.4 de la Charte des Nations Unies exige que :

[I]es Membres de l'Organisation s'abstiennent, dans leurs relations internationales, de recourir à la menace ou à l'emploi de la force, soit contre l'intégrité territoriale ou l'indépendance politique de tout État, soit de toute autre manière incompatible avec les buts des Nations Unies.

Additionally, Articles 39 to 51 address threats and breaches of the peace, acts Les articles 39 à 51 traitent en outre des menaces contre la paix et de rupture de la paix, des actes d'agression et du droit inhérent à la légitime défense. Ce régime général de droit international public entre États sous-tend le régime spécial du droit spatial et crée les mêmes interdictions et restrictions aux conflits militaires dans l'espace que sur Terre. Cependant, un consensus fait défaut sur les applications spécifiques du droit international en cas de conflit dans l'espace, comme cela a été défini pour les domaines maritime, aérien et terrestre.

La responsabilité internationale des États

En règle générale, les pouvoirs publics ne peuvent être tenus pour responsables des actes de leurs citoyens. Si un ressortissant d'un pays A se rend dans un pays B et qu'une personne souhaite le mettre en cause dans le pays B, le gouvernement du pays A ne sera généralement pas cité à titre de prévenu. Dans les transactions courantes entre personnes et gouvernements étrangers, les gouvernements ne sont pas responsables de leurs ressortissants. Il en va tout autrement pour les activités orbitales. De fait, en matière d'espace extra-atmosphérique, la situation s'inverse.

Selon les dispositions de l'article VI du Traité sur l'espace extra-atmosphérique, les États sont directement responsables de l'ensemble de leurs activités spatiales nationales, qu'elles soient conduites par le gouvernement lui-même ou par l'un de ses ressortissants ou l'une de ses sociétés quels qu'ils soient, et ce que le lancement soit effectué sur son territoire ou que ses ressortissants se livrent à des activités spatiales depuis l'étranger. Cette responsabilité directe des gouvernements nationaux est relativement singulière en droit international. L'article VI du Traité sur l'espace extra-atmosphérique précise:

Les États parties au Traité ont la responsabilité internationale des activités nationales dans l'espace extra-atmosphérique, y compris la Lune et les autres corps célestes, qu'elles soient entreprises par des organismes gouvernementaux ou par des entités non gouvernementales, et de veiller à ce que les activités nationales soient poursuivies conformément aux dispositions énoncées dans le présent Traité.

La phrase suivante ajoute:

Les activités des entités non gouvernementales dans l'espace extra-atmosphérique, y compris la Lune et les autres corps célestes, doivent faire l'objet d'une autorisation et d'une surveillance continue de la part de l'État approprié partie au Traité.

Étant donné le caractère relativement large et singulier de la responsabilité directe et de la responsabilité financière internationale potentielle pour toute activité nationale, cette obligation doit toujours être prise en compte avant d'envisager toute affaire spatiale. L'exigence de conformité de toute activité avec le traité joue le rôle de disposition limitative aux libertés d'accès, d'exploration et d'utilisation énoncées à l'article premier. Lorsque des activités spatiales entraînent des dommages matériels au sol, à un engin en vol ou à des objets en orbite, la simple responsabilité internationale s'étend à l'obligation de réparation, aspect distinct, mais intimement lié au premier (voir la section « La responsabilité internationale »).

À l'heure actuelle, de nombreuses activités spatiales sont par nature internationales et pour tout programme multinational, tous les États concernés sont soumis à ces obligations. Cette responsabilité étendue des États en vertu du droit international pousse à la création de politiques et de législations spatiales nationales, qui seront traitées au chapitre DEUX.

L'IMMATRICULATION DES OBJETS SPATIAUX

La responsabilité internationale pour les activités nationales et la responsabilité financière potentielle en cas de dommages causés à des États tiers s'accompagnent d'une obligation d'immatriculation des objets spatiaux. Des registres nationaux et internationaux des objets spatiaux permettent de déterminer les responsabilités qui incombent aux différents États pour des activités données.

L'immatriculation internationale des objets spatiaux remonte à la résolution 1721 B (XVI) de l'Assemblée générale de l'Organisation des Nations Unies, adoptée en 1961, à l'aube de l'ère spatiale. Cette résolution exhorte les États plaçant des objets en orbite à communiquer à l'ONU des renseignements relatifs aux lancements dans les meilleurs délais, afin d'alimenter un registre public tenu par l'ONU. Ce registre international a pour but d'aider les autres États à déterminer quel État conduit une activité spatiale donnée. À l'origine, l'intention était de contribuer à éviter les collisions en orbite. Aujourd'hui, cette déclaration volontaire aux Nations Unies serait qualifiée de mesure de transparence et de confiance, la publication de telles informations liées aux lancements faisant foi de l'ouverture d'un État quant à ses activités.

Si la résolution 1721 B (XVI) n'a pas de caractère contraignant et n'impose aucune obligation aux États, l'immatriculation internationale des objets spatiaux devient obligatoire en 1975 avec la Convention sur l'immatriculation – du moins pour ses parties. En 2017, 63 États avaient adhéré à cette convention, notamment l'ensemble des grandes puissances spatiales historiques (moins de pays, toutefois, que le nombre de signataires du Traité sur l'espace extra-atmosphérique).

Conformément aux articles III et IV de la Convention sur l'immatriculation, le Secrétaire général de l'ONU est tenu d'établir un registre des objets spatiaux libre d'accès. L'article IV impose à tout État inscrivant ses objets orbitaux sur un registre national de communiquer au Secrétaire général certains éléments destinés au registre international. Il s'agit des informations suivantes :

- Le nom de l'État (ou des États) procédant au lancement
- Un indicatif approprié ou le numéro d'immatriculation de l'objet spatial
- La date et le territoire ou lieu de lancement
- Les principaux paramètres de l'orbite, y compris :
 - la période nodale
 - l'inclinaison
 - l'apogée
 - le périégée
- La fonction générale de l'objet spatial

Il convient par ailleurs de faire part à l'ONU d'éléments supplémentaires, notamment d'informations sur les objets n'étant plus placés sur une orbite terrestre. Au nom du Secrétaire général, le Bureau des affaires spatiales de l'ONU (OOSA) est responsable de la tenue de ce registre international défini par la Convention sur l'immatriculation, de même que de celle du registre des objets institué par la résolution 1721 B (XVI) de l'Assemblée générale de l'ONU. Pour les États n'ayant pas adhéré à cette Convention, l'immatriculation internationale des objets peut se faire en vertu de la résolution 1721 B (XVI) de l'Assemblée générale de l'ONU.

Le Bureau des affaires spatiales recommande l'utilisation de son formulaire normalisé servant pour les deux registres (figure 3). Les renseignements demandés ne sont pas excessivement précis.

La résolution 62/101 de l'Assemblée générale des Nations Unies

Le formulaire d'immatriculation (figure 3) fait également référence à la résolution 62/101 de l'Assemblée générale de l'ONU, datée de 2007, intitulée « Recommandations visant à renforcer la pratique des États et des organisations internationales intergouvernementales concernant l'immatriculation des objets spatiaux ». Cette résolution traduit la volonté des États de fournir davantage d'informations sur les objets spatiaux, notamment des circonstances actualisées, comme d'éventuelles modifications du statut fonctionnel ou non fonctionnel, d'éventuels changements de la position orbitale ou le transfert vers une orbite de rebut, ainsi que le changement de statut du propriétaire, de l'exploitant ou de l'objet lui-même. Cette faculté de fournir des informations actualisées à l'ONU constitue un progrès majeur pour la conduite d'activités plus perfectionnées ou plus complexes à l'avenir, comme les lancements partagés entre divers pays, la maintenance en orbite ou l'élimination des débris spatiaux dans le futur.

L'immatriculation nationale

L'article VIII du Traité sur l'espace extra-atmosphérique ne mentionne pas l'immatriculation internationale. En revanche, il fait état de l'immatriculation nationale:

L'État partie au Traité sur le registre duquel est inscrit un objet lancé dans l'espace extra-atmosphérique conservera sous sa juridiction et son contrôle ledit objet et tout le personnel dudit objet, alors qu'ils se trouvent dans l'espace extra-atmosphérique ou sur un corps céleste. Les droits de propriété sur les objets lancés dans l'espace extra-atmosphérique, y compris les objets amenés ou construits sur un corps céleste, ainsi que sur leurs éléments constitutifs, demeurent entiers lorsque ces objets ou éléments se trouvent dans l'espace extra-atmosphérique ou sur un corps céleste, et lorsqu'ils reviennent sur la Terre.

Part A: Information provided in conformity with the Registration Convention or General Assembly Resolution 1721 B (XVI)		
New registration of space object	Yes ☐	Check Box
Additional information for previously registered space object	Submitted under the Convention: ST/SG/SER.E/ ☐ Submitted under resolution 1721B: A/AC.105/INF. ☐	UN document number in which previous registration data was distributed to Member States
Launching State/States/international intergovernmental organization		
State of registry or international intergovernmental organization		Under the Registration Convention, only one State of registry can exist for a space object.
Other launching States		
Designator		
Name		
COSPAR international designator		
National designator/registration number as used by State of registry		
Date and territory or location of launch		
Date of launch (hours, minutes, seconds optional)	hrs min sec	Coordinated Universal Time (UTC)
Territory or location of launch		
Basic orbital parameters		
Nodal period		minutes
Inclination		degrees
Apogee		kilometres
Perigee		kilometres

Figure 3 – OOSA International Registry Form
Source: UNOOSA.

Part A: Information provided in conformity with the Registration Convention or General Assembly Resolution 1721 B (XVI)

General function

General function of space object

Change of status

<i>Date of decay/reentry/deorbit (hours, minutes, seconds optional)</i>		hrs min	<i>Coordinated Universal Time (UTC)</i>
	<i>dd/mm/yyyy</i>	sec	

Sources of information

<i>UN registration documents</i>	http://www.unoosa.org/oosa/SORegister/docsstatidx.html
----------------------------------	---

<i>COSPAR international designators</i>	http://nssdc.gsfc.nasa.gov/spacwarn/
---	---

<i>Global launch locations</i>	http://www.unoosa.org/oosa/SORegister/resources.html
--------------------------------	---

<i>Online Index of Objects Launched into Outer Space</i>	http://www.unoosa.org/oosa/osoindex.html
--	---

Part B: Additional information for use in the United Nations Register of Objects Launched into Outer Space, as recommended in General Assembly Resolution 62/101

Change of status in operations

<i>Date when space object is no longer functional (hours, minutes, seconds optional)</i>		hrs min	<i>Coordinated Universal Time (UTC)</i>
	<i>dd/mm/yyyy</i>	sec	

<i>Date when space object is moved to a disposal orbit (hours, minutes, seconds optional)</i>		hrs min	<i>Coordinated Universal Time (UTC)</i>
	<i>dd/mm/yyyy</i>	sec	

<i>Physical conditions when space object is moved to a disposal orbit (see COPUOS Space Debris Mitigation Guidelines)</i>	
---	----------------------

Basic orbital parameters

<i>Geostationary position (where applicable, planned/actual)</i>		<i>degrees East</i>
--	----------------------	---------------------

Additional Information

<i>Website:</i>		
-----------------	----------------------	----------------------

Part C:

Information relating to the change of supervision of a space object, as recommended in General Assembly Resolution 62/101

Change of supervision of the space object

Date of change in supervision <i>(hours, minutes, seconds optional)</i>	hrs min sec	Coordinated Universal Time (UTC)
Identity of the new owner or operator		

Change of orbital position

Previous orbital position		degrees East
New orbital position		degrees East
Change of function of the space object		

Part D:

Additional voluntary information for use in the United Nations Register of Objects Launched into Outer Space

Basic information

<i>Space object owner or operator</i>		
<i>Launch vehicle</i>		
<i>Celestial body space object is orbiting (if not Earth, please specify)</i>		
<i>Other information (information that the State of registry may wish to furnish to the United Nations)</i>		

Sources of information

<i>General Assembly resolution 62/101</i>	http://www.unoosa.org/oosa/SORegister/resources.html
<i>COPUOS Space Debris Mitigation Guidelines</i>	http://www.unoosa.org/oosa/SORegister/resources.html
<i>Texts of the Registration Convention and relevant resolutions</i>	http://www.unoosa.org/oosa/SORegister/resources.html

Dans un domaine où la souveraineté étatique est absente, cet article a pour effet d'instaurer une composante cruciale de souveraineté nationale, à savoir, la juridiction. Le droit d'un État à exercer sa juridiction sur des objets spatiaux est subordonné à l'immatriculation des objets qu'il place en orbite dans un registre national. Tout État peut avoir intérêt à consolider ce droit international dans sa législation nationale.

L'inscription dans un traité international du droit national à exercer des compétences juridictionnelles de façon extraterritoriale grâce à un registre national incite les États à établir des registres nationaux et à y répertorier leurs objets spatiaux. Cela contribue à la transparence des activités spatiales. Dans la mesure où les registres nationaux sont accessibles publiquement, des intervenants extérieurs sont à même de déterminer le pays d'appartenance de chaque objet. En outre, les sections finales de l'article VIII déclarent que les États restent propriétaires des objets spatiaux qu'ils ont lancés et de leurs composants dans l'espace et lors de leur retour sur Terre. Les États adhérant au Traité sur l'espace extra-atmosphérique et aux traités suivants doivent donc envisager de créer des registres nationaux et de les tenir à jour.

Actuellement, plus de 30 États disposent de registres nationaux des objets spatiaux. Certains les rendent publics avec la possibilité d'effectuer des recherches en ligne (bien qu'il ne s'agisse pas d'une obligation). Les organisations internationales ne peuvent pas être parties à la Convention sur l'immatriculation. Toutefois, l'Agence spatiale européenne (ESA) et l'Organisation européenne pour l'exploitation de satellites météorologiques (EUMETSAT) tiennent également des registres de leurs objets spatiaux. En tant que moyen d'exercice de sa juridiction sur les objets spatiaux, le registre national est une composante essentielle des démarches obligatoires de supervision et de responsabilité d'un État. L'immatriculation nationale est décrite plus en détail au chapitre DEUX (« L'immatriculation nationale »).

Les lancements suborbitaux

La Convention sur l'immatriculation impose d'immatriculer tout objet « lancé sur une orbite terrestre ou au-delà ». La résolution 1721 B (XVI) de l'Assemblée générale de l'ONU, qui la précède, appelle également à enregistrer les objets lancés « sur une orbite ou sur une autre trajectoire extra-atmosphérique. » Cependant, aucune obligation internationale n'impose l'immatriculation des objets lancés pour des opérations suborbitales. La manière de gérer les activités spatiales suborbitales est une question ouverte que les nouveaux acteurs devront

envisager au moment de l'immatriculation, car celle-ci peut avoir un effet sur le fait de qualifier les activités suborbitales d'« activités spatiales ». Dans la mesure où les activités suborbitales d'un État ont seulement lieu au-dessus de leur espace aérien national, sans impliquer aucun aspect ou élément internationaux, ces activités suborbitales semblent relever uniquement des activités spatiales nationales d'un État. Les lancements qui dépassent l'altitude de certaines orbites, mais à des vitesses insuffisantes pour être satellisés, ou qui sont placés sur une trajectoire parabolique avant un retour sur Terre, ne sont par conséquent pas considérés comme « orbitaux ». À ce jour, de nombreux États n'ont pas tranché sur l'applicabilité du droit international de l'espace aux activités suborbitales et sur la portée à accorder à ce droit.

En revanche, l'un des objectifs principaux de l'immatriculation internationale consiste à alerter le monde à propos des activités spatiales d'un État. Par conséquent, le respect continu des obligations d'immatriculation internationale décrites plus haut contribue à la transparence et à la confiance générales quant aux activités spatiales.

LA GESTION INTERNATIONALE DES FRÉQUENCES

Les engins spatiaux communiquent au moyen des fréquences du spectre électromagnétique, qui sont limitées par les lois de la physique. La coordination des fréquences et leur attribution aux différents utilisateurs constituent donc l'un des processus les plus importants pour la réussite de tout projet spatial.

L'Union internationale des télécommunications (UIT) est l'agence spécialisée la plus ancienne au sein de l'Organisation des Nations Unies. Ses origines remontent aux unions postales internationales du milieu du XIXe siècle. Aujourd'hui, l'UIT compte plus de 190 membres adhérant à ses principaux traités : la Constitution

**Par conséquent,
le respect continu
des obligations
d'immatriculation
internationale
décrites plus haut
contribue à la
transparence et à la
confiance générales
quant aux activités
spatiales.**

et la Convention de l'UIT. Dès les débuts de l'ère spatiale, l'UIT a contribué à l'exploration et à l'utilisation de l'espace par ses mesures de coordination internationale et d'attribution des fréquences. L'UIT est chargée d'assurer l'utilisation rationnelle, équitable, efficace et économique du spectre des fréquences radioélectriques. Cette tâche incombe principalement au Secteur des radiocommunications de l'UIT (UIT-R). L'organisation administre également les positions orbitales (ou « créneaux orbitaux ») en orbite géostationnaire (GEO). Cette orbite est une ressource naturelle limitée, puisqu'elle présente des risques d'encombrement et d'usages impropres que la coordination entre utilisateurs permet d'éviter.

L'UIT-R assure la mise à jour du Règlement des radiocommunications, qui comporte la réglementation administrative des services de radiocommunication, et en particulier les services de radiocommunication satellitaire. Le Règlement des radiocommunications comprend le Fichier de référence international des fréquences qui rassemble l'ensemble des fréquences coordonnées. Dans le cadre de la conception d'un projet spatial, ce Fichier de référence doit être consulté au plus tôt, au moment de déterminer la ou les fréquences que les systèmes spatiaux et les stations sol utiliseront.

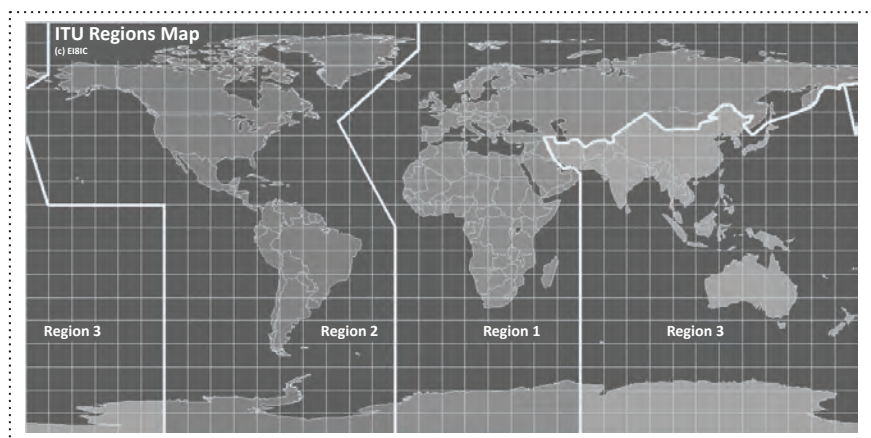


Figure 4 – ITU World Regions
Source: ITU.

L'UIT divise le monde en trois régions administratives (figure 4). La Région 1 rassemble l'Europe, l'Afrique, les pays de l'ex-Union soviétique et la Mongolie. La Région 2 est constituée du continent américain et du Groenland. La région 3 englobe le reste de l'Asie, l'Australasie et le Pacifique. Chaque région administrative a attribué des fréquences spécifiques à des technologies et des

services particuliers. L'UIT a assigné un certain nombre de fréquences à des activités spatiales définies, notamment l'exploration de la Terre, la météorologie, la radioastronomie, les télécommunications d'urgence, la radionavigation, les opérations spatiales, la recherche spatiale et les satellites amateurs.

Le spectre des radiofréquences est divisé en bandes qui peuvent être affectées à un usage exclusif ou être partagées pour donner lieu à diverses utilisations. Les applications à grande portée internationale jouissent d'affectations exclusives. Une portion partagée du spectre est consacrée à un ou plusieurs services, dans le monde entier ou au sein d'une région définie. Au sein des bandes partagées, les différents services sont classés selon qu'ils sont primaires ou secondaires. Les services primaires disposent de droits supérieurs aux secondaires.

En vertu du Règlement des radiocommunications, les stations d'un service secondaire:

- « ne doivent pas causer de brouillage préjudiciable aux stations d'un service primaire auxquelles des fréquences ont été assignées antérieurement ou sont susceptibles d'être assignées ultérieurement »
- « ne peuvent pas prétendre à la protection contre les brouillages préjudiciables causés par les stations d'un service primaire auxquelles des fréquences ont été assignées antérieurement ou sont susceptibles d'être assignées ultérieurement »
- « mais ont droit à la protection contre les brouillages préjudiciables causés par les stations de ce service secondaire ou des autres services secondaires auxquelles des fréquences sont susceptibles d'être assignées ultérieurement »

La figure 5 illustre la répartition des applications au sein des différentes parties du spectre radioélectrique. Chaque application dépend également de la région du monde où elle est mise en œuvre.

Les administrations nationales exécutent le Règlement des radiocommunications de l'UIT à l'échelle nationale. Une analyse plus approfondie est proposée au chapitre DEUX. Elle porte sur la procédure de coordination avec l'UIT grâce aux administrateurs nationaux. Enfin, la coordination entre les opérateurs et les administrateurs nationaux, de même qu'entre les différents opérateurs, est présentée au chapitre TROIS.

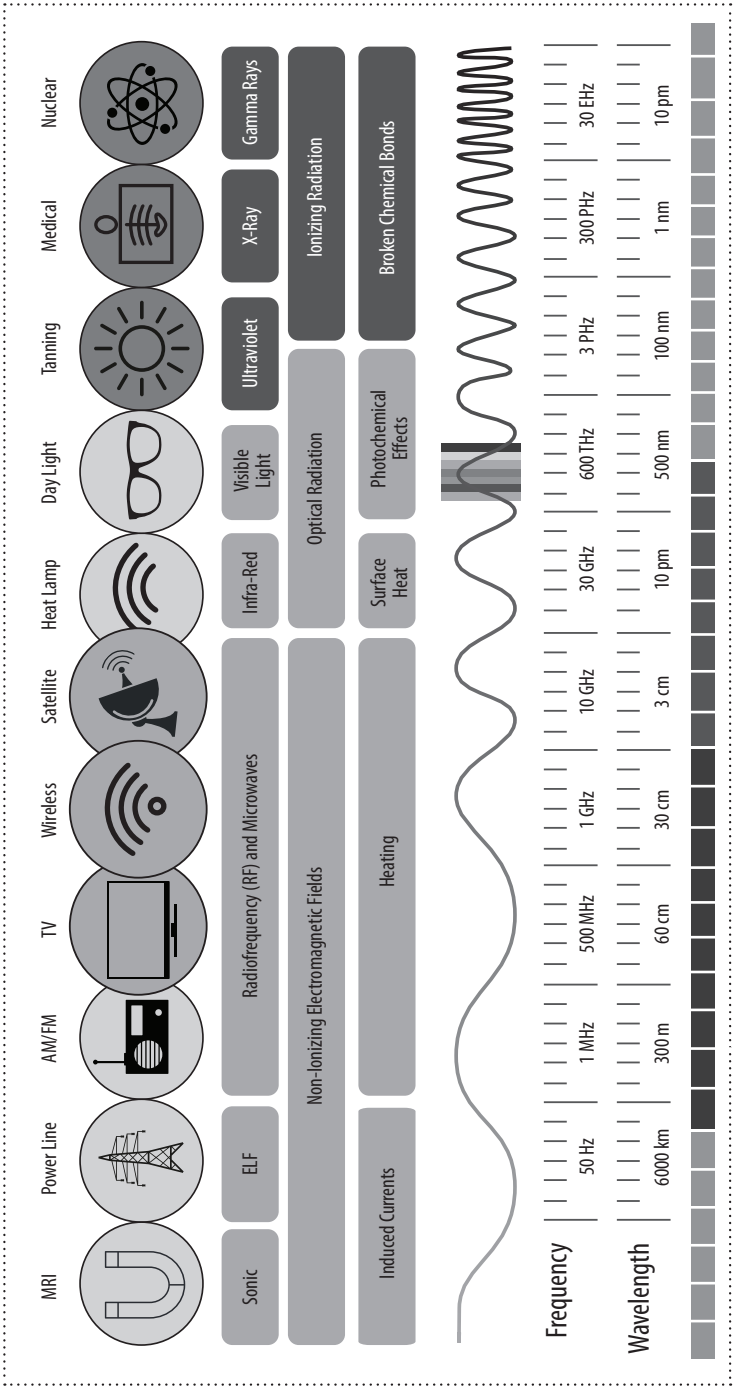


Figure 5 – The Electromagnetic Spectrum, Including Uses Along the Spectrum
 Source: Secure World Foundation.

La Conférence mondiale des radiocommunications

Les Conférences mondiales des radiocommunications (CMR) ont lieu tous les trois à quatre ans sous les auspices de l'UIT-R. Leur but est de permettre aux États membres d'examiner et de réviser le traité régissant l'utilisation du spectre des radiofréquences, ainsi que des orbites géostationnaires et non géostationnaires. Rassemblant des milliers de participants pendant près d'un mois, la CMR est l'événement incontournable où les fréquences des applications terrestres, aériennes et spatiales sont examinées et assignées. Les décisions prises lors des CMR peuvent ainsi avoir une influence significative sur les ressources disponibles pour les opérateurs de satellites.

La CMR détermine également les « Questions » que l'Assemblée des radiocommunications et ses Commissions d'études devront examiner en vue de futures Conférences des radiocommunications. Les ordres du jour et les Questions étant fixés si longtemps à l'avance, les nouveaux acteurs du secteur spatial devront se pencher sur les domaines d'étude susceptibles de concerner leurs projets ainsi que leurs besoins en matière de spectre. De même, ils pourraient chercher à influencer d'éventuelles évolutions du Règlement des radiocommunications pour convenir à leurs futurs projets.

Les sociétés privées et les autres parties intéressées peuvent devenir des membres du secteur de l'UIT, ce qui leur permet d'assister aux réunions et d'avancer les points de vue de leur secteur d'activité.

Le Groupe de coordination des fréquences spatiales

Autre institution notable, le Groupe de coordination des fréquences spatiales est un organe informel de gestionnaires de fréquences composé d'agences spatiales civiles. Les réunions annuelles du groupe visent à créer des accords administratifs et techniques sur les bandes allouées afin d'éviter les interférences dans le secteur spatial. Lors de ses réunions, le Groupe de coordination des fréquences spatiales adopte des résolutions et des recommandations contenant des accords administratifs et techniques permettant aux agences spatiales de tirer le meilleur parti des bandes allouées et d'éviter les interférences. Les recommandations du groupe ne sont pas contraignantes ; leur efficacité dépend de leur acceptation et de leur exécution volontaire par les membres.

Les communications laser

Au cours des dernières années, des progrès considérables ont été accomplis dans la conception de systèmes de communication laser pour les satellites. Contrairement

aux communications radio, qui utilisent les signaux des fréquences radio du spectre électromagnétique, les communications laser exploitent les signaux de la partie optique du spectre. Les technologies laser ont fait leurs preuves pour les communications entre les stations sol et les satellites en orbite terrestre, entre deux satellites en orbite terrestre, et entre les satellites en orbite lunaire et martienne et les stations sol sur Terre.

Les communications radio et laser se caractérisent par plusieurs différences majeures. Les communications laser fonctionnent en visibilité directe. Cela signifie qu'une liaison dégagée en ligne droite doit être établie entre l'émetteur et le récepteur. En d'autres termes, les communications laser ne peuvent être diffusées sur une large zone de réception. Cela rend également les communications bien plus difficiles à intercepter. Le risque de brouillage accidentel s'en trouve également très réduit. Par ailleurs, les communications laser reposent sur des fréquences nettement supérieures à celles des transmissions radio. Elles peuvent donc diffuser beaucoup plus de données.

Les communications laser posent des questions fondamentales en matière de réglementation internationale. D'après la définition en vigueur adoptée par l'UIT, les satellites utilisant les communications laser n'ont actuellement pas besoin de licence. À ce jour, le Comité du Règlement des radiocommunications se limite à réglementer le spectre des fréquences radioélectriques utilisé pour les applications de diffusion, ce qui exclut les systèmes laser. Cependant, certains souhaiteraient élargir la définition des communications satellitaires pour englober les communications laser, l'attribution de licences de fréquences radioélectriques constituant encore l'un des rares moyens de maîtriser les activités spatiales.

L'OBSERVATION DE LA TERRE

Chaque État jouit d'une totale souveraineté sur son territoire. Par conséquent, les autorités nationales sont souvent préoccupées par l'intervention de tiers recueillant des informations sur leur pays pour des raisons commerciales, politiques ou militaires. Si l'exploration de l'espace est bien libre, de nombreux États acceptent mal l'idée d'engins spatiaux observant la Terre et confiant de précieuses informations à leurs voisins.

À ce jour, aucun traité international ne réglemente directement l'observation de la Terre. Cependant, plusieurs résolutions de l'Assemblée générale de l'ONU

établissent certains principes en ce sens. La résolution 41/65 de 1986 définit quinze principes que les États peuvent appliquer à l'observation de la Terre. Elle établit d'abord une différence entre les « données primaires » et les « données traitées ». Les données primaires désignent les « données brutes recueillies par des capteurs placés à bord d'un objet spatial et transmises ou communiquées au sol depuis l'espace ». À l'inverse, les données traitées font référence aux « produits issus du traitement des données primaires ». Les « informations analysées » signifient les « informations issues de l'interprétation des données traitées, d'apports de données et de connaissances provenant d'autres sources ».

Le principe XII de la résolution 41/65 est sans doute le plus marquant des Principes sur la télédétection. Il vise à établir un équilibre entre la liberté d'explorer l'espace et les préoccupations des États à propos de l'observation de leur territoire (« États observés »):

Dès que les données primaires et les données traitées concernant le territoire relevant de sa juridiction sont produites, l'État observé a accès à ces données sans discrimination et à des conditions de prix raisonnables. L'État observé a également accès aux informations analysées disponibles concernant le territoire relevant de sa juridiction qui sont en possession de tout État participant à des activités de télédétection sans discrimination et aux mêmes conditions, compte dûment tenu des besoins et intérêts des pays en développement.

La résolution 41/65 de l'Assemblée générale de l'ONU n'est pas contraignante. Elle a cependant pour but de refléter les meilleures pratiques des puissances spatiales. Au-delà de cette résolution, le partage de données s'est très tôt imposé comme un principe clé de l'observation de la Terre par la reconnaissance du lien entre l'accessibilité de ces données et les intérêts sociétaux, les progrès scientifiques et les applications commerciales.

L'échange de données ouvertes à l'échelle internationale a été confirmé, notamment pour les données météorologiques mondiales et leurs produits dérivés avec la résolution 40 de l'Organisation météorologique mondiale (OMM). Le Groupe sur l'observation de la terre (GEO) est un partenariat de pouvoirs publics et d'organisations œuvrant pour un processus coordonné, exhaustif et continu d'observation de la Terre et de diffusion d'informations connexes. Il défend activement le partage total et ouvert de données sur les observations intégrées pour affronter les difficultés mondiales, régionales, nationales et infranationales.

LES NORMES INTERNATIONALES

Dans de nombreux domaines, les normes internationales permettent de renforcer la sûreté, la fiabilité et la qualité des produits et services. Elles sont de plus en plus mises en œuvre dans le secteur spatial. Une norme est tout simplement un document définissant des exigences, des spécifications, des lignes directrices ou des caractéristiques qui peuvent être utilisées de manière systématique pour s'assurer que les matériaux, les produits, les processus et les services sont adaptés à l'usage prévu. Les normes peuvent être très précises, comme une description de la manière d'interagir avec un certain type d'appareil, ou bien plus générales, en fournissant par exemple des informations sur les meilleures pratiques de gestion pour garantir un niveau de qualité suffisant.

Si des normes peuvent être rédigées par toutes les organisations ou les entités, les normes internationales prennent une place de plus en plus importante avec une mondialisation accrue. L'adoption d'une norme internationale peut contribuer à assurer la compatibilité entre des secteurs mondiaux entiers et permettre à des entreprises de distinguer leurs produits et services en démontrant leur très haute qualité. Diverses organisations d'un même domaine d'activité peuvent également s'appuyer sur des normes pour codifier les enseignements tirés d'échecs passés afin d'améliorer la sûreté dans l'ensemble du secteur.

L'Organisation internationale de normalisation

La principale structure normative est l'Organisation internationale de normalisation, ou ISO. Cette organisation non gouvernementale indépendante a été créée en 1946 pour faciliter la coordination et l'unification des normes industrielles dans le monde entier. L'ISO regroupe les agences nationales de normalisation de plus de 160 pays participants. Les personnes physiques ou les sociétés ne peuvent y adhérer, mais elles peuvent être nommées par les agences de normalisation de leurs pays à titre de représentantes dans les domaines des normes techniques et de l'élaboration des politiques.

Si de nombreuses normes ISO s'appliquent de fait au secteur spatial, un comité technique « Aéronautique et espace » (TC 20) se consacre précisément à ces domaines. Au sein du TC 20, l'ensemble des normes du domaine spatial sont élaborées par deux sous-comités : le SC 13, « Systèmes de transfert des informations et données spatiales », et le SC 14, « Systèmes spatiaux, développement et mise en œuvre ». Chaque sous-comité rassemble plusieurs groupes de travail qui se concentrent chacun sur un domaine déterminé, comme l'ingénierie des systèmes,

les opérations et le soutien au sol, ou les débris spatiaux.

Le Secteur de la normalisation des télécommunications de l'UIT

Le Secteur de la normalisation des télécommunications (UIT-T) est une division de l'UIT chargée de la coordination des normes techniques de télécommunication. Son travail s'effectue sur la base du consensus des États membres et des membres du secteur qui épaulent les nombreuses commissions d'études. Ces dernières ont pour objectif de rédiger des « Recommandations », ainsi que divers documents techniques, qui deviennent obligatoires uniquement en cas d'adoption dans le cadre d'une loi nationale.

L'Assemblée mondiale de normalisation des télécommunications (AMNT), qui se réunit tous les quatre ans, approuve les commissions d'études, définit leur programme de travail pour la période quadriennale suivante et nomme leurs présidents et vice-présidents.

Pour les acteurs du spatial, l'UIT-R reste nettement plus importante, mais l'UIT-T rassemble des commissions examinant les questions de cybersécurité, l'Internet des objets, la 5G et autres sujets dignes d'intérêt pour certaines sociétés commerciales.

Le Comité consultatif pour les systèmes de données spatiales

Le Comité consultatif pour les systèmes de données spatiales a été fondé en 1982 par plusieurs grandes agences spatiales pour ouvrir un forum de discussion sur les problèmes courants de conception et d'exploitation des systèmes de données spatiales. Actuellement, 11 agences spatiales sont pleinement membres du Comité, auxquelles s'ajoutent 28 agences observatrices. L'objectif principal du Comité consiste à élaborer des normes relatives aux besoins courants de traitement des données spatiales, et plus précisément au transfert de données des satellites vers les récepteurs terrestres. Le Comité a rédigé des normes dans les domaines suivants:

- Services d'interfaces embarquées à bord des engins spatiaux
- Services de liaisons spatiales
- Intégration de réseaux dans l'espace
- Services de conduite opérationnelle des missions et de gestion de l'information
- Ingénierie systèmes
- Services de soutien mutuels

Bien qu'il s'agisse d'organisations distinctes, l'ISO et le Comité consultatif pour les systèmes de données spatiales ont développé d'étroites relations en matière de standardisation pour l'espace. Les normes adoptées par le Comité sont également des normes ISO dans le cadre du sous-comité 13.

Le Comité international sur les systèmes mondiaux de navigation par satellite

La prolifération des technologies spatiales a conduit à l'émergence de propositions de normes internationales dans d'autres domaines, comme les Systèmes mondiaux de navigation par satellite (GNSS) et les informations géospatiales. Fondé en 2005, le Comité international sur les systèmes mondiaux de navigation par satellite stimule la coopération volontaire en matière de systèmes civils de positionnement, de navigation, de mesure du temps et autres services satellitaires à valeur ajoutée. Grâce à son Forum des fournisseurs, qui rassemble la Chine, l'Inde, le Japon, l'Union européenne, la Fédération de Russie et les États-Unis, le Comité encourage la coordination entre les fournisseurs actuels et à venir de services GNSS afin de renforcer la compatibilité, l'interopérabilité et la transparence.

Le Comité d'experts sur la gestion de l'information géospatiale à l'échelle mondiale

Le Comité d'experts sur la gestion de l'information géospatiale à l'échelle mondiale, organe des Nations Unies établi en 2011, propose un forum de coordination et d'échange entre les États membres et les organisations internationales, tout en encourageant l'enrichissement des informations géospatiales mondiales et leur usage pour répondre aux défis planétaires. Parmi ses initiatives clés, le Comité d'experts œuvre à la promotion de normes techniques favorisant l'interopérabilité des ensembles de données prioritaires. Par ailleurs, il cherche à stimuler l'engagement sur les questions politiques, juridiques et autres sujets connexes ayant une influence sur les capacités nationales et régionales en matière d'informations géospatiales. L'*Open Geospatial Consortium* vient compléter les travaux du Comité d'experts. Il s'agit d'un consortium international industriel d'entreprises, d'agences publiques et d'universités. Il vise à stimuler l'élaboration de normes d'interfaces disponibles publiquement pour renforcer l'interopérabilité et l'accessibilité des informations et services géospatiaux.

LE CONTRÔLE INTERNATIONAL DES EXPORTATIONS

De nombreux pays sont préoccupés par la propagation non maîtrisée de biens et technologies militaires conventionnels, ainsi que de technologies à double usage — comme les technologies spatiales. La notion de double usage caractérise les technologies utilisables pour des applications à la fois civiles et militaires. Concernant l'industrie spatiale, par exemple, les lanceurs à propulsion chimique permettent la mise en orbite de véhicules ou de personnes, mais ils peuvent également servir de missiles balistiques pour le transport d'armes de destruction massive. Tout nouvel entrant, acteurs privés non gouvernementaux compris, doit être parfaitement conscient de la nature sensible et des enjeux politiques omniprésents de l'ensemble des activités spatiales.

À l'échelle internationale, l'Arrangement de Wassenaar sur le contrôle des exportations d'armes conventionnelles et de biens et technologies à double usage constitue une avancée notable pour la maîtrise de la prolifération de certains types de biens et de technologies militaires ou à double usage. Il a été établi en 1996 et compte à ce jour 41 États membres, principalement en Amérique du Nord et en Europe. L'Arrangement de Wassenaar a pour but de contribuer à la sécurité et à la stabilité régionale et internationale. Pour ce faire, il encourage la transparence et une responsabilité accrue concernant le transfert d'armement conventionnel et de biens et technologies à double usage, afin de prévenir toute accumulation déstabilisatrice. Les États participants contrôlent les éléments inscrits sur la liste des biens et technologies à double usage et des munitions (*List of dual-use goods & technologies and munitions list*). Ils s'efforcent d'en empêcher tout transfert non autorisé. L'Arrangement de Wassenaar exploite également les contrôles des exportations pour lutter contre le terrorisme. Il n'a pas vocation à s'opposer à un État ou à un groupe d'États déterminé, quels qu'ils soient. Les États participants acceptent d'échanger des renseignements sur les biens et technologies sensibles à double usage, respectent des pratiques convenues et signalent tout transfert ou tout déni de transfert d'éléments sous contrôle vers des bénéficiaires extérieurs à l'Arrangement.

Le Régime de contrôle de la technologie des missiles (RCTM) constitue un autre instrument international important en matière d'activités spatiales. Il s'agit d'un régime volontaire établi en 1987. En 2017, il réunissait 34 pays participants. Quatre pays supplémentaires ont accepté de se conformer aux règles de contrôle des exportations, sans adhésion officielle. Le RCTM vise à coordonner les efforts

nationaux d'octroi de permis d'exportation dans le but d'endiguer la prolifération de systèmes de livraison inhabités capables de transporter des armes de destruction massive.

Le Code de conduite international contre la prolifération des missiles balistiques, également appelé Code de conduite de La Haye, a été créé en 2002 pour renforcer le RCTM. Ce code de conduite encourage les États participants à faire preuve de retenue en matière d'essais, de production et d'exportation de missiles balistiques. Moins restrictif que le RCTM, ses 143 États participants lui confèrent néanmoins une légitimité supérieure à l'échelle internationale. Il s'impose donc comme une robuste mesure de transparence et de confiance. Les États adhérents acceptent de diffuser des notifications avant chaque lancement et des déclarations annuelles sur leurs politiques.

Les contrôles des exportations d'un seul pays ont eu des répercussions dans le monde entier. La réglementation ITAR (*International Traffic in Arms Regulations*) des États-Unis est constituée d'un ensemble de règles gouvernementales destinées à contrôler les exportations et les importations d'articles et de services liés à la défense inscrits sur la liste nationale des munitions (*US Munitions List, USML*). Elle a profondément modifié la façon dont les autres pays orientent leur industrie en raison des exigences de conformité ITAR. Il est notamment obligatoire de s'enregistrer auprès de la direction du contrôle commercial de la défense du Département d'État (*Directorate of Defense Trade Controls*) et d'obtenir les autorisations nécessaires. Certains satellites et technologies connexes figurent parmi les articles de la liste USML. Par ailleurs, certains États sont parvenus à commercialiser des produits dispensés de cette réglementation (*ITAR-free*), ce qui implique moins de restrictions à l'exportation que les éléments de la liste USML.

**Les États qui
cherchent à
encourager
les activités et
industries spatiales
nationales devraient
réfléchir aux cadres
réglementaires
qu'ils devraient
adopter pour
autoriser et
superviser ces
activités**

LA RESPONSABILITÉ INTERNATIONALE

En droit international, il convient de distinguer deux acceptions de la notion de responsabilité. La version officielle française des principaux instruments juridiques sur l'espace utilise indifféremment le terme « responsabilité » pour traduire deux notions étroitement liées, mais distinctes : celle de « responsabilité » (*responsibility*) (conformité de son programme spatial au droit international en vigueur) et celle de « responsabilité financière » (*liability*) (obligation juridique de réparer tout préjudice découlant de sa responsabilité). L'article VII du Traité sur l'espace extra-atmosphérique établit que tout État qui « procède ou fait procéder au lancement d'un objet dans l'espace extra-atmosphérique [...] est responsable du point de vue international des dommages causés par ledit objet ou par ses éléments constitutifs, sur la Terre, dans l'atmosphère ou dans l'espace extra-atmosphérique, y compris la Lune et les autres corps célestes, à un autre État partie au Traité ou aux personnes physiques ou morales qui relèvent de cet autre État. »

Cette obligation de faire face à ses responsabilités civiles en cas de dommages est intrinsèquement liée à la responsabilité. Toutefois, une distinction subtile exige d'y apporter une attention particulière. Si la responsabilité, abordée plus haut, consiste en une obligation de s'assurer que l'ensemble de ses activités spatiales est conforme au Traité sur l'espace extra-atmosphérique, la clause de responsabilité financière impose aux États d'entreprendre des poursuites pour obtenir réparation de la part d'autres États en cas de dommages. D'après la Convention sur la responsabilité de 1972, le terme « dommage » désigne « la perte de vies humaines, les lésions corporelles ou autres atteintes à la santé, ou la perte de biens d'État ou de personnes, physiques ou morales, ou de biens d'organisations internationales intergouvernementales, ou les dommages causés auxdits biens ». Il est généralement interprété dans le sens de dommages matériels avérés, par opposition à des intérêts pécuniaires ou à d'autres formes de dommages non matériels.

Par ailleurs, la responsabilité incombe à l'État ou aux États chargés des activités nationales concernées. La responsabilité financière de tout « État de lancement » peut être engagée si un quelconque objet spatial de son ressort provoque des dommages. Les lancements dans l'espace sont intrinsèquement dangereux. De plus, l'exécution d'un lancement n'est pas illégale en soi. Cependant, l'obligation de responsabilité financière et de réparation en cas de dommages signifie que les États sont tenus de verser des indemnités après la survenue de dommages, étant entendu que les dommages n'impliquent pas nécessairement une violation du droit international.

Le Traité sur l'espace extra-atmosphérique définit quatre catégories d'États de lancement : (1) tout État « qui procède » ou (2) « fait procéder au lancement d'un objet spatial » et tout État dont (3) « le territoire » ou (4) « les installations servent au lancement d'un objet spatial ». La Convention sur la responsabilité et celle sur l'immatriculation reprennent ces catégories. En conséquence, plusieurs États de lancement peuvent être tenus pour responsables financièrement en cas de dommages. C'est d'ailleurs de la sorte que de nombreuses activités spatiales sont menées aujourd'hui.

Pour les États, l'obligation de responsabilité financière implique qu'ils sont libres de procéder à des lancements, mais qu'ils doivent s'assurer que ces activités restent légales et qu'ils doivent se tenir prêts à verser des indemnités à d'autres États si des dommages en résultent (sur terre, dans l'espace aérien ou dans l'espace extra-atmosphérique). Un lancement peut avoir lieu depuis le territoire d'un pays tiers, mais un État peut toujours être tenu pour responsable de réparations si ses activités entrent dans l'une des quatre catégories générales des États de lancement.

En bref, un État est responsable à la fois de l'ensemble de ses activités spatiales nationales et d'éventuelles réparations en cas de dommages liés à des activités pour lesquelles il est qualifié d'État de lancement. Pour les nouveaux acteurs du domaine spatial, ces obligations signifient que les États chargés de leur surveillance doivent chercher à limiter les lancements risqués ou ceux qui pourraient provoquer des dommages à d'autres États. L'État chargé de la surveillance peut également mettre en place des dispositions visant à réduire la portée de sa responsabilité financière potentielle ou à en compenser les effets. Il peut par exemple exiger qu'un nouvel entrant non étatique souscrive une assurance couvrant les éventuels dommages de ses missions. Les questions d'assurance sont développées aux chapitres DEUX et TROIS.

Un État de lancement est tenu pour responsable de tout dommage consécutif à cette activité spatiale. Tout État de lancement a donc intérêt à réglementer les activités privées. Une fois qu'un pays est déclaré « État de lancement », il sera toujours considéré ainsi. Plusieurs États de lancement peuvent coexister, mais en général un seul État est chargé de l'immatriculation des objets. En apparence, l'État de lancement devrait toujours être chargé de l'immatriculation, mais les lancements internationaux complexes sont de plus en plus fréquents. La qualification d'État de lancement impose une responsabilité financière. En revanche, l'immatriculation relève plus de la responsabilité de surveillance, d'octroi de licences et de supervision, ainsi que de la compétence juridique relative à l'objet spatial.

Les États souhaitant stimuler les activités spatiales et l'industrie nationales doivent étudier le cadre juridique à adopter pour autoriser et superviser ces activités.

LE RÈGLEMENT DES DIFFÉRENDS

Dans l'idéal, les activités spatiales ne devraient jamais susciter de différends, ni entre États, ni entre entités privées, ni entre les uns et les autres. Il demeure toutefois essentiel de comprendre les différents mécanismes de règlement des différends disponibles le cas échéant. Cette section traite des mécanismes fondamentaux proposés aux États et au secteur privé.

La Convention sur la responsabilité de 1972 établit un cadre dans lequel les États peuvent intenter des poursuites en cas de dommages provoqués par un objet spatial (à l'encontre d'un autre objet spatial, d'un aéronef en vol ou à la surface terrestre). La Convention sur la responsabilité définit des paramètres précis pour la résolution diplomatique de litiges, qui commencent à l'article IX. L'article X précise que « [l]a demande en réparation peut être présentée à l'État de lancement dans le délai d'un an à compter de la date à laquelle s'est produit le dommage ou à compter de l'identification de l'État de lancement qui est responsable. »

Selon la Convention sur la responsabilité, la demande en réparation « n'exige pas l'épuisement préalable des recours » auprès des tribunaux nationaux. Une demande en réparation peut être formée auprès des tribunaux nationaux ou bien en vertu de la Convention sur la responsabilité. Cependant, ces deux voies ne peuvent être exercées parallèlement.

Si l'une des deux parties à un litige n'a pas adhéré à la Convention sur la responsabilité, cet instrument ne peut être invoqué. Dans cette situation, toute résolution diplomatique suit les règles du droit international pour les États parties au litige. Par exemple, si les deux États sont parties au Traité sur l'espace extra-atmosphérique, les dispositions de son article VII s'appliquent.

Lorsqu'il est impossible de résoudre un conflit par des voies diplomatiques, la Convention sur la responsabilité prévoit le règlement non contradictoire des différends dans le cadre d'une Commission de règlement des demandes composée de trois membres, qui peut être sollicitée par l'une ou l'autre des parties. La procédure de formation d'une Commission de règlement des demandes est décrite

dans les articles XIV à XX. Tout différend réglé dans le cadre de la Convention sur la responsabilité, qu'il soit résolu par la voie diplomatique ou grâce à une Commission de règlement des demandes, est « déterminé conformément au droit international et aux principes de justice et d'équité », ce qui revient généralement à tenter de replacer l'État victime du dommage dans la position où il aurait été en l'absence de dommages.

La Cour internationale de Justice

La Cour internationale de Justice (CIJ) offre une autre possibilité de règlement de différends entre États liés à des activités spatiales. Naturellement, les parties doivent accepter de porter leur litige devant la CIJ ou bien reconnaître la juridiction obligatoire de la CIJ. Seuls les États sont autorisés à exercer des demandes en réparation auprès de la CIJ. (Certaines organisations internationales peuvent néanmoins solliciter un avis consultatif.) La CIJ n'a pas encore eu à se prononcer sur une affaire liée au domaine spatial. Elle aurait pourtant compétence matérielle pour tout différend lié à l'espace relevant du droit international.

L'arbitrage et la médiation

Les conventions d'arbitrage prennent généralement la forme d'une clause d'un contrat établissant les droits et les responsabilités des parties. Ces clauses d'arbitrage jouissent généralement d'une bonne reconnaissance à l'échelle internationale. Elles sont même privilégiées par certaines juridictions, puisqu'elles permettent de réduire la charge des tribunaux. Cependant, toutes les parties ne partagent pas les mêmes priorités en matière de résolution des différends. Une clause d'arbitrage confère aux parties l'autorité de décider du processus de sélection de l'arbitre et de définir ses compétences, mais encore de déterminer si des faits peuvent être étayés et lesquels, de vérifier les règles (de preuve et de procédure) applicables, d'établir le calendrier, le degré de confidentialité, le rôle de chaque arbitre, le format de la décision attendue, le caractère contraignant ou non de cette décision, la procédure d'appel, le cas échéant, le choix de la loi applicable, les recours provisoires et les mesures d'exécution. Les clauses d'arbitrage peuvent désigner un tribunal arbitral. Dans ce cas, les parties doivent se conformer aux règles et exigences de cette cour.

Comme l'arbitrage et les décisions de justice, la médiation fait également appel à des tiers neutres pour régler un différend. Cependant, les médiateurs ne rendent pas de décisions contraignantes. Les procédures de médiation sont moins structurées et plus souples que celles des cours ou des tribunaux arbitraux, et elles peuvent être entièrement consensuelles ou ordonnées par des cours. Le règlement

de différends entre des acteurs non étatiques, comme les sociétés ou autres entités privées, est traité dans les chapitres suivants.

En 2011, la Cour permanente d'arbitrage (CPA) de La Haye a promulgué le Règlement facultatif de la Cour permanente d'arbitrage pour l'arbitrage des différends relatifs aux activités liées à l'espace extra-atmosphérique. Par ailleurs, la CPA recommande une clause type à intégrer aux contrats. Ces règles définissent d'autres voies de règlement des différends entre les États, les organisations internationales et les entités privées.

LES ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX

La protection des environnements terrestre et spatial est nécessaire pour préserver la faculté d'y vivre et de les utiliser. Le risque est inhérent aux activités spatiales, et notamment aux lancements. Diverses réglementations traitant de la protection de l'environnement interdisent donc certaines activités ou déterminent les responsables en cas de survenance de dommages. Par ailleurs, plusieurs principes de protection de l'environnement spatial ont été définis, comme celui qui s'applique très judicieusement aux orbites et aux corps célestes.

La protection de l'environnement terrestre

Le lancement d'un objet dans l'espace est par essence une activité dangereuse. Elle implique généralement la combustion d'immenses quantités d'ergols solides et liquides, ainsi que le passage accéléré d'équipements de pointe dans des milieux extrêmes. Les sites de lancement sont donc implantés dans des lieux isolés, pour limiter au maximum les dommages éventuels en cas d'accident.

Plusieurs sources juridiques visent à protéger l'environnement terrestre et attribuent les responsabilités en matière d'indemnisation dans le cas où un dommage survient. À l'échelle internationale, les États sont généralement responsables des dommages transfrontières internationaux portant préjudice à des États tiers. Cette obligation existe dans les coutumes générales des États et est largement reconnue. Concernant le droit spatial, l'article VII du Traité sur l'espace extra-atmosphérique établit les règles de responsabilité pour les lancements spatiaux, en prévoyant la responsabilité financière des États de lancement provoquant des dommages sur Terre ou dans l'espace aérien qui portent préjudice à d'autres États signataires.

Par ailleurs, les États sont absolument responsables des dommages résultant de leurs lancements au sol ou sur des appareils en vol. Cette responsabilité financière absolue ne nécessite pas d'établir la preuve d'une faute ou d'une négligence. Il suffit de montrer que les dommages sont la conséquence des activités de l'État responsable. En conséquence, même si les activités spatiales sont généralement légales, la reconnaissance de leur nature extrêmement risquée se traduit dans ce régime de responsabilité financière absolue établi par le Traité sur l'espace extra-atmosphérique et la Convention sur la responsabilité.

La contamination de la Terre

L'article IX du Traité sur l'espace extra-atmosphérique porte en grande partie sur la protection de l'environnement spatial, mais sa deuxième phrase aborde la protection de l'environnement terrestre contre des matériaux spatiaux. Cet article dispose que :

Les États parties au Traité effectueront l'étude de l'espace extra-atmosphérique, y compris la Lune et les autres corps célestes, et procéderont à leur exploration de manière à éviter les effets préjudiciables de leur contamination ainsi que les modifications nocives du milieu terrestre résultant de l'introduction de substances extraterrestres et, en cas de besoin, ils prendront les mesures appropriées à cette fin.

Le Comité de la recherche spatiale (COSPAR), organisation scientifique interdisciplinaire, s'intéresse depuis longtemps à la protection des conditions pures et singulières des environnements spatiaux — la notion de pureté s'entendant avant tout par rapport à l'absence d'interactions humaines. À ces fins, le COSPAR a promulgué des principes de protection planétaire applicables aux missions spatiales. La protection des autres corps célestes est traitée plus bas. Quant aux missions de retour sur Terre, le COSPAR préconise les plus strictes mesures de précaution afin d'endiguer tout risque de « contamination » de notre planète.

Le COSPAR subdivise les missions de retour sur Terre en deux catégories : celles pour lesquelles le retour est réglementé (*Restricted Earth Returns*) et celles pour lesquelles il ne l'est pas (*Unrestricted Earth Returns*). Cette deuxième classification s'applique aux missions de retour depuis des corps célestes dénués de formes de vie indigène ou de types d'environnement susceptibles d'abriter la vie, comme la Lune ou Vénus. La catégorie *Restricted Earth Returns* concerne en revanche les missions revenant de Mars ou d'Europe, par exemple. Les futures missions de retour sur Terre seront classées avant le retour d'échantillons, de même que les activités à venir (sur décision du COSPAR en temps utile).

L'utilisation de sources d'énergie nucléaires dans l'espace

La propulsion d'un engin spatial dans les conditions difficiles de l'espace extra-atmosphérique exige de recourir à des techniques et des technologies toujours plus perfectionnées. Des sources d'énergie nucléaires ont été utilisées sur les véhicules spatiaux dès les débuts de l'ère spatiale. La dégradation régulière et prévisible des matériaux radioactifs dégage de l'énergie par des moyens et dans des quantités bien adaptés aux besoins d'un engin spatial. Les générateurs thermoélectriques à radio-isotopes (RTG) et les générateurs de chaleur à radio-isotopes (RHU) sont des sources d'énergie éprouvées historiquement, aussi bien par les États-Unis que par la Fédération de Russie, tous deux exploitant des sources d'énergie radioactives.

Reconnaissant la grande pertinence des sources d'énergie nucléaires pour les missions spatiales, la résolution 47/68 de l'Assemblée générale des Nations Unies, datée de 1992, énonce 11 principes concernant leur utilisation. Ces principes rappellent l'applicabilité du droit international, et les concepts et les cadres établis par le Traité sur l'espace extra-atmosphérique et la Convention sur la responsabilité en matière de responsabilité d'un État de lancement, de réparation en cas de dommages, ainsi que de compétence et de contrôle de l'État d'immatriculation.

Le principe 3 de cette résolution définit des orientations et des critères d'utilisation, affirmant que le recours à des sources d'énergie nucléaires dans l'espace doit être limité aux « missions spatiales qui ne peuvent raisonnablement être effectuées à l'aide de sources d'énergie non nucléaires. » Il impose par ailleurs l'emploi exclusif de l'uranium 235 fortement enrichi comme combustible. Les réacteurs doivent être conçus et construits de telle sorte qu'ils ne puissent atteindre l'état critique avant de parvenir à l'orbite opérationnelle ou à la trajectoire interplanétaire, même dans les cas les plus graves (« y compris l'explosion d'une fusée, la rentrée dans l'atmosphère, l'impact au sol ou sur un plan d'eau »).

Le principe 5 énonce des instructions pour communiquer des informations sur toute « avarie risquant d'entraîner le retour dans l'atmosphère terrestre de matériaux radioactifs. » Les informations à fournir décrivent la trajectoire de lancement et les paramètres orbitaux, la source d'énergie nucléaire, ainsi que la « forme physique », la « quantité » et les « caractéristiques radiologiques générales probables » des éléments susceptibles d'atteindre le sol. Ces informations doivent être communiquées aux États concernés, ainsi qu'au Secrétaire général de l'Organisation des Nations Unies. Ces principes promeuvent également

la consultation et l'assistance entre les États. Ils renforcent les rôles de la responsabilité, de la responsabilité financière et de la réparation. Enfin, ils établissent les voies de règlement des différends en vertu des traités en vigueur.

Pour faire suite à la résolution 47/68, le Sous-Comité scientifique et technique du Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique a engagé une étroite collaboration avec l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) pour élaborer le Cadre de sûreté pour les applications de sources d'énergie nucléaire dans l'espace. Bien que non contraignant, ce cadre a vocation à orienter les acteurs nationaux et intergouvernementaux en matière de sûreté. Il traite de l'utilisation sûre des sources d'énergie nucléaires pour les missions spatiales. Il conseille les pouvoirs publics sur la manière d'autoriser les missions exploitant cette énergie, sur la gestion des responsabilités, concernant notamment la sûreté de ces missions, et fournit des orientations techniques. Lors de la conception de missions spatiales utilisant l'énergie nucléaire, ces lignes directrices doivent être examinées dès le début du projet.

Les débris spatiaux

Pendant plus de 60 ans d'activité orbitale, l'humanité a généré un nombre considérable de débris spatiaux (figure 6). Ce terme désigne généralement des satellites hors d'usage, des étages de lanceurs restés en orbite et tous objets de dimensions diverses satellisés au cours de lancements et de manœuvres d'engins spatiaux. L'armée américaine effectue actuellement le suivi de près de 23 000 débris d'origine humaine de plus de dix centimètres dérivant en orbite. Chacun d'entre eux pourrait détruire un satellite en service en cas de collision. Les recherches de scientifiques de plusieurs agences spatiales estiment le nombre de débris de un à dix centimètres à près de 500 000. La plupart d'entre eux ne font l'objet d'aucune surveillance. Une collision avec un objet de cette taille pourrait sérieusement endommager un satellite. Ces débris sont concentrés dans les zones les plus exploitées de l'orbite terrestre, où évoluent également de nombreux satellites en service : l'orbite terrestre basse (LEO), en-deçà de 2 000 kilomètres d'altitude et la zone d'orbite géosynchrone, à environ 36 000 km de notre équateur.

Ancien scientifique de la NASA, Donald Kessler a été l'un des premiers à prédire un phénomène maintenant connu sous le nom de syndrome de Kessler : l'augmentation du nombre de débris en orbite tend vers un point critique où la densité des objets entraînera des collisions aléatoires entre eux. Celles-ci créeront à leur tour encore plus de débris à un rythme supérieur à celui de leur retombée vers la terre par freinage atmosphérique. Contrairement à la situation spectaculaire



Figure 6 – Trajectoires orbitales des satellites actuellement suivis et des débris spatiaux en orbite terrestre basse. Source : Analytical Graphics Inc

du film *Gravity*, ce processus pourrait se produire extrêmement lentement, durant des décennies, voire des siècles. Pourtant, l'espace n'était pas un environnement absolument vierge avant que les humains ne commencent à y placer des objets en orbite. Des débris issus de météoroïdes circulent naturellement dans l'espace. Kessler prédisait que les répercussions en cascade de ces collisions entre débris formeraient un nuage de débris d'origine anthropique plus dangereux pour les satellites que les objets naturels.

L'ensemble des scientifiques s'accorde maintenant à admettre que ce point critique est advenu. La région de l'orbite terrestre basse comprise entre 700 et 900 kilomètres contient à présent une concentration de débris anthropiques telle que davantage de débris seront générés même si aucun nouveau satellite n'est lancé. Ces collisions ne mèneront pas à une croissance infinie du nombre d'objets. Elles conduiront à un point d'équilibre caractérisé par une masse de débris supérieure à celle que nous connaissons actuellement. L'intensification de ce phénomène va augmenter les

de Kessler :
l'augmentation du
nombre de débris
en orbite tend vers
un point critique
où la densité des
objets entraînera des
collisions aléatoires
entre eux.

risques (et donc les coûts) de l'exploitation de satellites dans certaines régions déterminantes, comme l'orbite terrestre basse. Des frais supplémentaires pèseront sur les opérateurs. Il faudra en effet prévoir plus de satellites de rechange pour remplacer les engins perdus lors de collisions, concevoir des satellites plus lourds et plus perfectionnés, plus coûteux à construire et à mettre en orbite, et faire face à de nouveaux frais d'exploitation découlant du besoin d'anticiper et d'éviter les collisions. L'augmentation des dépenses risque fort de freiner le développement commercial de l'espace. Elle représentera une charge plus lourde sur les budgets des gouvernements, ce qui pourrait conduire à perdre certains des avantages des activités spatiales ou à entraver la découverte de nouvelles applications.

Trois types de mesures permettent de faire face à ce problème : la réduction des débris spatiaux, le retrait actif des débris et la gestion du trafic spatial. Chacune de ces catégories adopte une approche différente : limiter la formation de nouveaux débris spatiaux, s'attaquer aux débris déjà en orbite ou maîtriser les conséquences négatives de ces objets sur les activités spatiales.

La réduction des débris spatiaux passe par la conception de satellites et de systèmes spatiaux limitant autant que possible la production de débris en fonctionnement normal, l'étude de méthodes de diminution du risque de fragmentation ou d'explosion des engins en fin de vie en purgeant les réservoirs du combustible inutilisé ou en déchargeant les batteries, et l'élimination responsable des véhicules et des étages des lanceurs après leur utilisation. À la fin des années 1990, plusieurs agences spatiales majeures se sont regroupées au sein du Comité de coordination inter-agences sur les débris spatiaux (IADC). Cet organisme s'est fixé l'objectif de contribuer à la coordination et au partage des recherches entre les différentes agences en matière de débris spatiaux. En 2007, l'IADC a publié des lignes directrices relatives à la réduction des débris spatiaux. Elles définissent des régions protégées en orbite terrestre et émettent des recommandations destinées à aider les opérateurs de satellites à juguler la production de débris de longue durée dans ces régions. La figure 7 illustre les différentes régions protégées en vertu des lignes directrices de l'IADC.

De nature plus politique, les Lignes directrices relatives à la réduction des débris spatiaux du COPUOS constituent un ensemble d'orientations simplifiées. Elles ont été approuvées par les Nations Unies en 2009, mais s'appliquent également sur la base du volontariat. Plusieurs États ont intégré ces recommandations de réduction des débris à leur droit ou à leurs politiques. Ces aspects seront développés au chapitre DEUX.

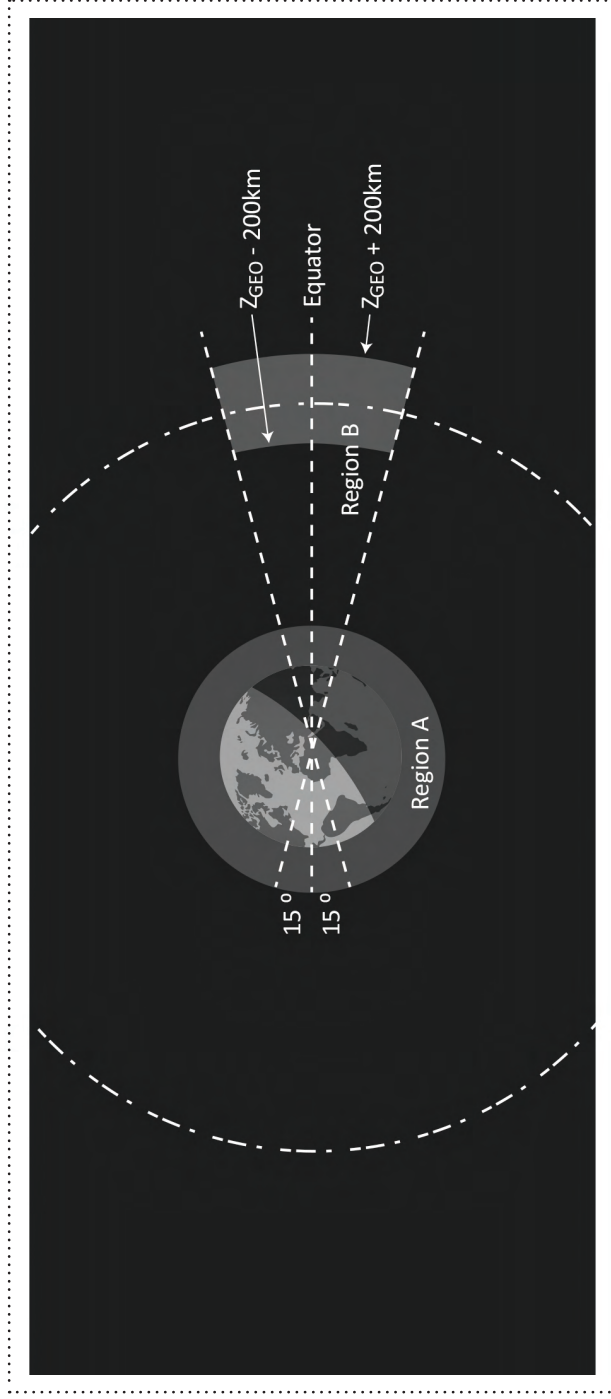


Figure 7 – Les régions protégées de l'espace.

Source: Secure World Foundation.

Au cours des dernières années, l'IADC a concentré ses efforts de recherche sur le retrait actif des débris. En 2013, le Comité a publié une étude menée par six agences spatiales. Fondés sur six modèles différents, ces travaux prévoient une augmentation moyenne de 30 % de la quantité de débris en orbite terrestre basse au cours des 200 prochaines années, même avec 90 % de respect des lignes directrices de réduction des débris. Ces résultats accentuent de manière encore plus alarmante le besoin de se consacrer au retrait actif des débris dans les années à venir.

La question du retrait actif des débris est actuellement envisagée selon trois approches principales. La première consiste à éliminer chaque année de cinq à dix objets parmi les plus volumineux. Cela permettrait de ralentir, voire de stopper l'augmentation du nombre de débris à long terme, sans toutefois parvenir à éviter le risque de collision à plus court terme. La deuxième approche se concentre sur le retrait de plus petits objets (1 à 10 centimètres). Le risque à court terme en serait réduit, mais cela aurait très peu d'effet sur l'augmentation de la quantité de débris à long terme. La troisième approche est celle de l'évitement de collision juste à temps (*Just-in-time Collision Avoidance, JCA*). Elle consiste à anticiper d'éventuelles collisions entre des débris et à dévier leurs trajectoires orbitales pour éviter l'impact. Les méthodes envisagées reposent sur des lasers installés au sol ou dans l'espace ou des brouillards de glace d'eau.

Des experts du monde entier travaillent intensément à la résolution de ces problèmes depuis plusieurs années. Des solutions techniques prometteuses pour le retrait de petits ou de grands objets commencent à se dessiner. Cependant, ces efforts dépendent beaucoup du choix des objectifs. L'émergence d'une solution unique et complète permettant de retirer à la fois les petits et les grands débris reste peu probable. De plus, aucune de ces techniques n'a encore fait l'objet d'une démonstration opérationnelle en orbite. Par ailleurs, toutes posent une grande diversité de problèmes juridiques, politiques et autres aspects à traiter au-delà de la faisabilité technique.

La résolution de la question des débris spatiaux exigera une excellente coordination et une étroite coopération entre les ingénieurs et les scientifiques travaillant sur ces technologies, ainsi que la participation des juristes et des décideurs qui élaborent les dispositifs de surveillance politiques et réglementaires.

DES ENJEUX IRRÉSOLUS

Les sections précédentes traitent d'aspects fondamentaux du cadre politique, juridique et réglementaire international des activités spatiales. Si des subtilités doivent être prises en compte aux frontières de chacun de ces sujets, nombre de questions ont été tranchées et sont bien comprises. La dernière section de ce chapitre présente les enjeux en évolution et d'autres sujets complexes concernant les activités spatiales.

La frontière entre l'air et l'espace

Malgré plus de 60 ans d'activités spatiales, aucune définition juridique n'a été reconnue à l'échelle internationale quant à la délimitation verticale de l'espace aérien et au début de l'espace extra-atmosphérique. Ni le Traité sur l'espace extra-atmosphérique ni les autres instruments internationaux n'établissent un point de référence marquant la frontière de l'espace. Il est pourtant essentiel de définir l'espace extra-atmosphérique, car les régimes juridiques qui régissent l'espace aérien et l'espace extra-atmosphérique sont fondamentalement différents, et parce

qu'il est nécessaire de traverser les airs pour accéder à l'espace. Une distinction entre ces deux domaines contribuerait à clarifier le régime juridique applicable aux activités transversales.

La notion de souveraineté, composante fondamentale de tout État moderne, représente le pouvoir d'un gouvernement à imposer son autorité exclusive (en légiférant, en réglant des différends et en exerçant ses divers pouvoirs, comme l'exécution du droit et les décisions judiciaires). Un État est absolument souverain dans l'espace aérien situé au-dessus de son territoire et de ses eaux territoriales. Cependant, l'article II du Traité sur l'espace extra-atmosphérique entame

La résolution de la question des débris spatiaux exigera une excellente coordination et une étroite coopération entre les ingénieurs et les scientifiques travaillant sur ces technologies, ainsi que la participation des juristes et des décideurs qui élaborent les dispositifs de surveillance politiques et réglementaires.

sévèrement la notion de souveraineté, ne laissant à un État que sa compétence et ses droits de propriété sur les objets lancés et immatriculés, ainsi que sur son personnel dans l'espace. En droit aérien, la souveraineté des États prévoit le droit d'exclure des tiers de son espace aérien. La pénétration dans celui-ci (transit, atterrissage et décollage) par un appareil civil d'un pays tiers n'est autorisée qu'en vertu de traités bilatéraux et multilatéraux très complexes. Cette structure s'oppose à celle du régime de l'espace extra-atmosphérique : tout État jouit du droit d'accéder librement à l'espace, de l'explorer et de l'utiliser.

En 1976, un groupe de pays des régions équatoriales a signé la déclaration de Bogota, qui revendique la maîtrise de l'espace au-dessus de leurs territoires. Cet instrument visait à renverser le cadre juridique existant, affirmant que l'orbite géostationnaire, en tant que ressource limitée, ne doit pas être considérée comme appartenant à l'espace extra-atmosphérique. La constitution colombienne considère toujours la portion de l'orbite située à la verticale de son territoire comme lui appartenant. Pourtant, les revendications de la déclaration de Bogota n'ont pas été largement reconnues et les États continuent de s'en remettre à l'UIT pour l'allocation de créneaux orbitaux.

Certains pressentent que ce problème d'absence de délimitation juridique entre l'espace aérien et l'espace extra-atmosphérique pourrait devenir de plus en plus préoccupant dans un avenir proche. Certaines activités pourraient être considérées comme se déroulant dans l'air et donc être régies par le droit aérien. Cependant, elles pourraient aussi être interprétées comme ayant lieu dans l'espace, et donc relever du droit spatial. Un avion spatial réutilisable doit-il se conformer au droit aérien jusqu'à ce qu'il atteigne son orbite ? Ou bien, étant un appareil spatial, le droit spatial s'applique-t-il pendant toute la durée de sa mission, transit aérien compris ? D'une manière concrète et générale, la zone dans laquelle un satellite artificiel peut se maintenir en orbite terrestre pourrait être considérée comme appartenant à l'espace extra-atmosphérique, bien que cette altitude ne constitue pas nécessairement un plafond pour l'espace aérien. L'approche « spatialiste » cherche plutôt à déterminer une frontière bien marquée. L'altitude de 100 kilomètres au-dessus de la surface terrestre (ligne de Kármán) est souvent avancée.

D'autres approches sont fondées sur la forme du véhicule, avec l'utilisation d'ailes (comme les avions) ou de propulseurs (comme les lanceurs). On peut également distinguer les appareils à décollage horizontal (avions) ou vertical (lanceurs). L'apparence du véhicule et la nature de sa mission serviraient à déterminer s'il ressort du droit aérien ou spatial. Cette approche « fonctionnaliste » ne tente pas

de trancher sur une démarcation physique au-dessus de la surface terrestre comme le préconise l'approche « spatialiste ».

La classification d'une activité dans le domaine de l'aviation ou de l'espace influe non seulement sur les règles de la zone d'exploitation, mais également sur les règles nationales qui s'imposent, et enfin sur les règles de responsabilité internationale et de réparation, qui en retour façonnent cette activité. À ce jour, pourtant, aucune définition internationale n'a été communément acceptée. Ces incertitudes pourraient découler de la distinction manifeste entre les aéronefs, associés à l'espace aérien, et les lanceurs et les satellites, à l'espace orbital. En outre, aucune des deux approches, spatialiste ou fonctionnaliste, n'a réussi à s'imposer.

À mesure que les technologies évoluent et que de nouveaux acteurs étatiques et non étatiques placent différents engins en orbite, il pourrait devenir utile de délimiter plus clairement la frontière de l'espace.

Les pouvoirs publics étudiant la législation spatiale pourraient dans un premier temps s'interroger sur l'opportunité de déterminer la limite juridique de l'espace à l'échelon national, notamment en l'absence d'une définition internationale. De même, une start-up du secteur spatial doit impérativement maîtriser les différents régimes juridiques s'appliquant aux espaces aérien et orbital, et appréhender le flou juridique qui subsiste d'un point de vue international.

La gestion du trafic spatial

La gestion du trafic spatial recouvre les mesures destinées à réduire ou à modérer les impacts négatifs de l'encombrement croissant de

Les pouvoirs publics étudiant la législation spatiale pourraient dans un premier temps s'interroger sur l'opportunité de déterminer la limite juridique de l'espace à l'échelon national, notamment en l'absence d'une définition internationale. De même, une start-up du secteur spatial doit impérativement maîtriser les différents régimes juridiques s'appliquant aux espaces aérien et orbital, et appréhender le flou juridique qui subsiste d'un point de vue international.

l'espace. À mesure que le nombre de satellites en service et le volume de débris spatiaux augmentent, notamment sur les orbites et aux altitudes les plus utilisées, l'encombrement devient de plus en plus préoccupant. Plusieurs collisions accidentelles entre des satellites fonctionnels et des objets spatiaux ont déjà été confirmées. Dans ces cas, le satellite a été endommagé, voire complètement détruit, entraînant parfois la formation de milliers de nouveaux débris orbitaux. La gestion du trafic spatial vise à éviter les collisions futures et les autres incidents susceptibles de générer de nouveaux débris ou tout autre risque, tout en renforçant la sûreté et l'efficacité des activités spatiales.

La connaissance de l'environnement spatial constitue une composante essentielle de la gestion du trafic. Cette notion fait référence à la faculté de caractériser l'environnement spatial et les activités qui s'y déroulent. L'utilisation de capteurs installés au sol ou dans l'espace (comme des radars ou des télescopes optiques) pour le suivi des objets en orbite est une composante déterminante de la connaissance de l'environnement spatial. Les données de poursuite de plusieurs capteurs peuvent être combinées pour estimer l'orbite des objets et prédire leur trajectoire. D'autres approches essentielles, comme la météorologie de l'espace, la caractérisation des objets orbitaux et les manœuvres prédéterminées, sont décrites au chapitre TROIS (« Les activités en orbite »).

Certains pays se lancent actuellement dans des démarches pouvant se rapprocher de la gestion du trafic spatial. Cependant, il n'existe encore aucune pratique nationale à grande échelle ni de régime international spécifique. En 2010, l'administration américaine a entamé un programme émettant des alertes en cas de rapprochement imminent à destination de tous les opérateurs de satellites. Quelques autres pays fournissent de telles alertes aux entités nationales. De nombreux opérateurs de satellites font appel à un service tiers, comme la *Space Data Association*, ou à leur propre agence spatiale nationale, pour obtenir des éléments qui s'ajoutent aux alertes et aux données des pouvoirs publics. (Le chapitre TROIS développe ce sujet.) Des initiatives politiques internationales ont également permis d'envisager des lignes directrices ou des normes destinées à renforcer de façon volontaire la sûreté et la durabilité des opérations. Des études sur les interactions entre le trafic spatial et le trafic aérien, ainsi que les éventuels problèmes de sécurité, s'y sont ajoutées.

Le débat selon lequel un régime de gestion du trafic spatial devrait trouver sa source dans les pratiques nationales ou dans un traité international n'est pas tranché. Des comparaisons ont été établies entre la gestion du trafic spatial et celle

de la circulation aérienne. Un nouveau traité pourrait donner lieu à un organisme international apparenté à l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI), qui définirait les normes de la gestion du trafic spatial. Toutefois, l'OACI a été créée pour surmonter les différences entre différentes réglementations préexistantes concernant les espaces aériens nationaux. De plus, les normes de circulation aérienne définies par l'OACI exigent d'être exécutées par les services administratifs et de régulation des États. Or, de nombreux pays ne disposent pas de tels organes consacrés aux activités spatiales. En conséquence, les principales puissances spatiales sont souvent incitées à établir des régimes nationaux de gestion du trafic spatial susceptibles de former la base d'un régime international à l'avenir.

Pour les missions prévues vers certaines destinations, acteurs responsables serait bien avisé s'instruire sur les divers protection planétaire politiques et d'observer eux dans l'exécution de leurs missions.

Le statut de l'être humain dans l'espace

Les États et les sociétés privées se préparent à des programmes spatiaux habités allant des vols suborbitaux à des voyages au-delà de l'orbite terrestre. Le statut juridique de l'être humain dans l'espace doit donc être défini dans le cadre international. Le régime des traités fondamentaux accorde des droits et des responsabilités spécifiques aux « astronautes » qui ne s'appliquent pas systématiquement à d'autres participants à des vols spatiaux, comme les touristes spatiaux.

L'article V du Traité sur l'espace extra-atmosphérique qualifie les astronautes d'« envoyés de l'humanité » et enjoint les États à leur prêter « toute l'assistance possible en cas d'accident, de détresse ou d'atterrissage forcé » sur leur territoire ou en haute mer. Cette assistance impose également leur « retour prompt et à bon port dans l'État d'immatriculation de leur véhicule spatial ». Dans l'espace extra-atmosphérique et sur les corps célestes, les États doivent apporter « toute l'assistance possible » aux astronautes d'autres États parties au traité. Enfin, les États sont également tenus d'informer les autres États et le Secrétaire général de l'Organisation des Nations Unies de tout phénomène découvert dans l'espace

susceptible de « présenter un danger pour la vie ou la santé des astronautes. »

L'Accord sur le sauvetage des astronautes, le retour des astronautes et la restitution des objets lancés dans l'espace extra-atmosphérique de 1968 complète et précise les droits et les obligations des êtres humains dans l'espace. La signification de ces textes est très claire. Elle rappelle l'esprit pacifique et coopératif qui motive les obligations imposées aux États. Cependant, aucun de ces traités ni aucune des sources du droit international établies par la suite ne définit le terme « astronaute ». La question du statut de l'être humain lors des voyages spatiaux est encore marginale, mais les nouveaux acteurs du secteur pourraient être amenés à l'envisager à l'avenir. Les États cherchant à gagner en crédibilité en matière spatiale manifesteront sans nul doute leur volonté de placer certains de leurs ressortissants parmi les moins de 600 êtres humains ayant déjà voyagé dans l'espace.

La protection des corps célestes

In addition to the environmental issues discussed in previous sections, the Outre les questions environnementales évoquées plus haut, la protection des corps célestes reste un enjeu complexe auquel certains nouveaux acteurs pourraient être confrontés. L'article IX du Traité sur l'espace extra-atmosphérique établit tout d'abord un engagement positif selon lequel les États doivent se fonder sur « les principes de la coopération et de l'assistance mutuelle » et poursuivre toutes leurs activités « en tenant dûment compte des intérêts correspondants de tous les autres États parties au Traité. » Concernant l'environnement des corps célestes, toute démarche d'étude et d'exploration doit être menée « de manière à éviter les effets préjudiciables de leur contamination. »

Cet article impose ensuite aux États d'engager « les consultations internationales appropriées » avant d'entreprendre toute activité ou expérience s'ils ont lieu de croire que cela « causerait une gêne potentiellement nuisible aux activités d'autres États parties ». Enfin, les États peuvent demander l'ouverture de consultations sur les activités ou les expériences d'autres États lorsqu'ils ont lieu de croire qu'une activité ou expérience causerait une gêne potentiellement nuisible à leurs propres activités.

Si le texte de cet article porte sur la protection environnementale, sa deuxième phrase traite particulièrement de la protection des corps célestes et oblige les États à adopter des mesures adaptées pour empêcher les effets préjudiciables de la contamination de l'espace extra-atmosphérique et des corps célestes. Cette phrase

visé également à empêcher la formation de débris spatiaux et l'introduction de substances extraterrestres sur Terre. Ainsi, cet article traduit la volonté des États de préserver les corps célestes. Il a donné lieu à de nouvelles réflexions sur la signification de la protection planétaire.

Comme évoqué précédemment, le COSPAR a promulgué une politique de protection planétaire (*Planetary Protection Policy*) pour les missions vers les autres corps célestes. Ce document, dont la dernière mise à jour remonte à mars 2011, traduit les préoccupations des scientifiques qui étudient l'origine de la vie et leurs inquiétudes quant à la contamination, même accidentelle, d'environnements célestes, par des engins habités ou automatisés. La politique de protection planétaire définit cinq catégories de missions en fonction de leurs destinations et du type de mission (à savoir : orbiteur, atterrisseur, mission de retour sur Terre. Voir tableau 2).

La catégorie I fait référence à des missions vers des corps célestes qui ne sont pas directement pertinents pour comprendre le processus d'évolution chimique ou l'apparition de la vie. Il peut s'agir de certains types d'astéroïdes et d'autres destinations à définir. Ces missions ne suscitent aucune préoccupation de protection planétaire, que le véhicule employé soit un orbiteur, un robot mobile ou un atterrisseur.

Les missions de catégorie II exploitent également des orbiteurs, des robots mobiles et des atterrisseurs, mais sont dirigées vers plusieurs corps célestes majeurs : Vénus, Jupiter, Saturne, Uranus, et Neptune ; ainsi que Ganymède, Callisto, Titan, Triton, Pluton et Charon ; Cérès ; les comètes, les astéroïdes du type chondrite carbonée, et les objets de la ceinture de Kuiper. Ces missions de catégorie II concernent les corps célestes présentant un intérêt scientifique notable quant au processus d'évolution chimique ou de formation de la vie, mais dont l'environnement présente des caractéristiques physiques qui limitent fortement le risque de contamination susceptible de nuire aux études à venir. Ces missions nécessitent de consigner les probabilités d'impact anticipées et les mesures de prévention de la contamination. Il convient également d'étayer les mesures liées à la protection planétaire entreprises grâce à un plan général de protection planétaire, ainsi que des rapports avant le lancement, après le lancement, après la rencontre et en fin de mission.

Les catégories III à V sont prévues pour des missions plus perfectionnées. Il peut s'agir de survols de Mars, d'Europe ou d'Encelade, ou de satellisation autour de ces astres (catégorie III), d'atterrissages sur Mars, Europe ou Encelade (cat. IV)

Planetary Protection Categories		
Planetary Targets and Locations	Mission Types	Mission Categories
Undifferentiated, metamorphosed asteroids; Io; others to be determined (TBD).	Flyby, Orbiter, Lander	I
Venus; Earth's moon; Comets; non-Category I Asteroids; Jupiter; Jovian Satellites (except Io and Europa); Saturn; Saturnian satellites (except Titan and Enceladus); Uranus; Uranian satellites; Neptune; Neptunian satellites (except Triton); Kuiper-Belt Objects (< 1/2 the size of Pluto); others TBD.	Flyby, Orbiter, Lander	II+
Icy satellites where there is a remote potential for contamination of the liquid-water environments, such as Ganymede (Jupiter); Titan (Saturn); Triton, Pluto and Charon (Neptune); others TBD.	Flyby, Orbiter, Lander	II
Mars; Europa; Enceladus; others TBD (Categories IVa-c are for Mars).	Flyby, Orbiter	III
	Lander, Probe	IV (a-c)
Venus, moon; others TBD: "unrestricted Earth return."	Unrestricted Earth-Return	V (unrestricted)
Mars; Europa; Enceladus; others TBD: "restricted Earth return."	Restricted Earth-Return	V (restricted)

Table 2 – Planetary Protection Categories

ou de toute mission de retour sur Terre (cat. V). Les missions de retour depuis Vénus ou la Lune ne sont pas réglementées (*Unrestricted Earth Return*), tandis que les missions vers Mars ou Europe et leurs retours le sont (*Restricted Earth-Return Missions*) et exigent des vérifications draconiennes.

Les lignes directrices du COSPAR sont mises en œuvre à l'échelon national : les agences spatiales et les pouvoirs publics les intègrent à leurs cadres nationaux

de réglementation et de licences ou bien les mettent en œuvre dans les plans de l'agence spatiale du pays. Aux États-Unis, la NASA dispose d'un bureau de protection planétaire, a établi des directives pour toute l'agence et impose des procédures obligatoires à chacune de ses missions.

Hormis les missions destinées à préserver des corps célestes pour leur valeur scientifique, la protection de zones et d'artefacts déterminés sur les corps célestes est également jugée importante au regard de leur rôle dans l'histoire de l'exploration spatiale. Les sites d'atterrissage des missions Apollo, et notamment le matériel abandonné par les astronautes et même les traces de pas emblématiques de Neil Armstrong, Buzz Aldrin et leurs successeurs, présentent un intérêt patrimonial intemporel. Il en va de même pour les robots mobiles des missions soviétiques à la surface lunaire, comme les véhicules *Lunokhod*, et les autres engins sur les autres corps célestes. Le classement de certains de ces lieux à titre de sites du patrimoine mondial de l'UNESCO avant que de nouvelles missions ne risquent de les perturber a été envisagé. Il appartient pour le moment aux États et à leurs agences spatiales de contribuer à préserver ces sites et ces objets d'intérêt.

Les responsables de missions doivent étudier et respecter les diverses politiques de protection planétaires mises en œuvre pour chacune des destinations de leurs véhicules.

Les ressources spatiales

Comme évoqué en ouverture du présent chapitre, l'exploration et l'utilisation de l'espace extra-atmosphérique sont soumises à un régime de liberté. Le Traité sur l'espace extra-atmosphérique garantit même que ces activités sont « l'apanage de l'humanité tout entière. » Mais quels sont les droits des États, des sociétés privées et même des individus en

matière d'utilisation des ressources spatiales ? Les rédacteurs et les négociateurs du traité ont envisagé cet aspect, mais l'ont formulé de façon suffisamment vague pour permettre de le préciser par la suite. Cependant, même s'il consacre des libertés notables dans l'espace, le traité est également assorti d'interdictions. Son article II indique :

Les responsables de missions doivent étudier et respecter les diverses politiques de protection planétaires mises en œuvre pour chacune des destinations de leurs véhicules.

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

Si l'article avait simplement affirmé que l'espace extra-atmosphérique « ne peut faire l'objet d'appropriation nationale », il aurait été bien plus concis. Cependant, ses autres éléments définissent plus précisément des interdictions formelles. La mention de la Lune et des autres corps célestes prouve que l'interdiction porte à la fois sur les corps célestes et sur le « vide » de l'espace. Plus important encore, la mention d'une éventuelle « proclamation de souveraineté » associée à l'utilisation et à l'occupation de l'espace définit une liste de méthodes (ou moyens) ne justifiant pas l'appropriation de l'espace par un État. Ni une déclaration (comme une proclamation) ni un acte concret (comme l'utilisation ou l'occupation) ne constituent en effet une appropriation légale. La liste de l'article II n'est pas exhaustive. Elle illustre simplement quelques moyens manifestes qui ne légitiment aucunement une appropriation nationale. Par ailleurs, le terme « corps célestes » n'est jamais défini en droit international. Il n'apparaît pas clairement si les astéroïdes et les comètes peuvent être considérés comme des corps célestes au même titre que les planètes de notre système solaire.

L'interprétation de ces interdictions pourrait passer au premier plan à mesure que de nouvelles activités spatiales deviennent possibles. Imaginons une situation où une mission habitée vers Mars arriverait à destination au terme de plusieurs mois de voyages. L'une des interprétations du texte interdirait à cet équipage d'accéder à la glace d'hydrogène des régions polaires ou à d'éventuelles ressources de glace d'eau afin de produire des ergols pour ses véhicules, et de l'air et de l'eau potable pour ses équipements de vie. Selon cette interprétation, l'ensemble des ergols, de l'eau et de l'air nécessaires à la mission devrait impérativement venir de la Terre. Il s'agit d'une interprétation particulièrement stricte du traité qui pourrait s'opposer aux intentions de ses rédacteurs originaux. Les grandes libertés établies par ailleurs dans le traité, ainsi que les objectifs et le contexte pour lequel il a été rédigé, suggèrent une autre interprétation.

Dans ce cas, l'utilisation des réserves de glace d'eau martiennes ne serait pas considérée comme une appropriation nationale et ne serait donc pas sujette à la souveraineté d'un État distant de millions de kilomètres. De plus, les États-Unis comme l'Union soviétique ont rapporté des échantillons de sol lunaire et ont agi de telle sorte qu'ils ont affirmé et transféré la propriété incontestable de ces éléments.

À l'heure d'examiner la question de l'utilisation des ressources spatiales, les objectifs du Traité sur l'espace extra-atmosphérique semblent s'opposer à des interdictions exagérément strictes qui pourraient restreindre les activités spatiales à l'avenir. Tant que l'utilisation des ressources spatiales est conforme aux objectifs du traité, promeut ses finalités et se conforme au droit international, elle reste permise. En outre, tant que ces activités ne se traduisent pas par l'appropriation souveraine d'une ressource par un État, comparable à une colonisation de l'espace ou de corps célestes, elles restent tolérées.

Les États qui envisagent des activités ou industries de nouvelle génération liées aux ressources spatiales devront se pencher sur leur interprétation du Traité sur l'espace extra-atmosphérique relative aux droits d'utilisation et d'exploration de l'espace. Ils devront de même réfléchir à la façon dont ces libertés sont pondérées ou limitées par l'article II.

LES ORGANISATIONS COMPÉTENTES

Les nouveaux acteurs doivent connaître les organisations suivantes avant de s'engager dans des activités spatiales.

Les organisations intergouvernementales

Le Groupe sur l'observation de la terre

Constitué en 2005 et fort de plus de 200 États membres et organisations participantes, le Groupe sur l'observation de la terre (GEO) vise à renforcer l'interopérabilité entre les différents systèmes d'observation de notre planète. www.earthobservations.org/ **www.earthobservations.org/**

Les États qui envisagent des activités ou industries de nouvelle génération liées aux ressources spatiales devront se pencher sur leur interprétation du Traité sur l'espace extra-atmosphérique relative aux droits d'utilisation et d'exploration de l'espace. Ils devront de même réfléchir à la façon dont ces libertés sont pondérées ou limitées par l'article II.

Le Comité de coordination inter-agences sur les débris spatiaux:

Le Comité de coordination inter-agences sur les débris spatiaux (IADC), fondé en 1993, est un forum international des agences spatiales consacré à la coordination internationale des activités relatives aux débris spatiaux d'origine anthropique et naturelle. L'IADC a formulé des Lignes directrices relatives à la réduction des débris spatiaux. **www.iadc-online.org/**

Le Comité international sur les systèmes mondiaux de navigation par satellite:

Fondé en 2005, le Comité international sur les systèmes mondiaux de navigation par satellite (ICG) cherche à promouvoir la coopération volontaire sur des aspects d'intérêt mutuel liés au positionnement, à la navigation et à la synchronisation par satellite et aux services à valeur ajoutée. Il s'agit de renforcer la coordination entre les fournisseurs de systèmes mondiaux et régionaux de navigation par satellite, ainsi que l'intensification des services, qui permettra d'augmenter la compatibilité, l'interopérabilité et la transparence. **www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/icg/icg.html**

L'Union internationale des télécommunications:

L'Union internationale des télécommunications (UIT) est une agence spécialisée des Nations Unies. Son siège est à Genève. Elle est chargée de promouvoir un accès équitable au spectre électromagnétique et aux ressources orbitales en vue des services satellitaires. Elle encourage également le développement, la mise en œuvre et l'utilisation efficace de ces services. L'UIT gère le processus de coordination des fréquences à l'échelle mondiale, élabore des normes internationales et tient à jour le Fichier de référence international des fréquences. Tous les trois à quatre ans, l'UIT réunit sa Conférence mondiale des radiocommunications (CMR) pour réviser ou adopter le Règlement des radiocommunications, un traité établissant les dispositions réglementaires, opérationnelles, procédurales et techniques qui s'appliquent aux spectres radio et aux ressources orbitales. Chaque pays dispose d'une voix lors de la CMR, bien que de nombreuses décisions soient adoptées par consensus. **www.itu.int/fr/Pages/default.aspx**

L'Assemblée générale des Nations Unies:

Établie en 1945 par la Charte des Nations Unies, l'Organisation des Nations Unies (ONU) est la plus grande et la plus importante institution politique intergouvernementale. Ses principaux organes (l'Assemblée générale, le Conseil de sécurité, le Conseil économique et social, le Secrétariat et la Cour internationale de Justice) œuvrent pour le maintien de la paix et de la sécurité dans le monde, contribuent à résoudre des problèmes humanitaires d'ordre économique, social et culturel et promeuvent le respect des droits humains et les libertés fondamentales. **www.un.org/**

L'Assemblée générale des Nations Unies:

L'Assemblée générale est le principal organe de délibération des Nations Unies. Elle est composée de tous les États membres, dotés chacun d'une voix par décision. L'Assemblée générale se réunit annuellement, durant la seconde moitié de septembre, au siège de l'ONU à New York. Les décisions sur les sujets les plus graves (comme la paix, la sécurité et l'adhésion de nouveaux membres) exigent une majorité des deux tiers, tandis que tous les autres sujets sont adoptés à la majorité simple. La plus grande part du travail de l'Assemblée générale incombe à ses commissions et autres organes. Deux d'entre eux sont dédiés aux enjeux spatiaux. www.un.org/en/ga/

La Première Commission:

La Première Commission de l'Assemblée générale de l'ONU s'intitule Commission des questions de désarmement et de la sécurité internationale. Ces questions sont parfois liées aux enjeux de l'espace extra-atmosphérique. www.un.org/en/ga/first/

La Quatrième Commission:

La Quatrième Commission de l'Assemblée générale est désignée sous le nom de Commission des questions politiques spéciales et de la décolonisation. Le rapport annuel du Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique est transmis à la Quatrième Commission, qui crée également le mandat de travail du COPUOS pour l'année suivante. www.un.org/en/ga/fourth/

Le Comité des Nations Unies des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique (COPUOS):

Fondé par une résolution de l'Assemblée générale des Nations Unies en 1958, le Comité des Nations Unies des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique (COPUOS) constitue le principal organe des Nations Unies en matière d'activités spatiales. Le COPUOS et ses deux sous-comités se réunissent à Vienne. Le Sous-Comité scientifique et technique se réunit deux semaines en février, le Sous-Comité juridique deux semaines en mars. La session plénière du COPUOS se tient pendant une semaine et demie en juin. En 2017, le COPUOS comptait 84 États membres et était en voie d'élargissement (seuls les États peuvent y adhérer). Une grande diversité d'observateurs permanents intergouvernementaux et non gouvernementaux y siège également. Les rapports du COPUOS sont transmis à la Quatrième Commission de l'Assemblée générale des Nations Unies

pour approbation. C'est sous les auspices du Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique que les principaux instruments juridiques concernant l'espace, comme le Traité sur l'espace extra-atmosphérique, ont été rédigés et négociés. www.unoosa.org/

Le Bureau des affaires spatiales:

Le Bureau des affaires spatiales a son siège à Vienne. Placé sous l'autorité du Secrétaire général de l'ONU, il est divisé en deux sections : la Section des affaires du Comité, des politiques et des questions juridiques et la Section des applications spatiales. Le Bureau des affaires spatiales fait office de secrétariat pour le Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique et ses deux sous-comités. Le programme du Bureau en matière d'applications spatiales aide les pays émergents à utiliser les technologies spatiales à des fins de développement. Il apporte pour cela une assistance technique, des formations et des programmes de bourses sur la télédétection, les communications, la météorologie et la navigation satellitaires, le droit de l'espace et les sciences spatiales élémentaires. Le Bureau des affaires spatiales est chargé de tenir le registre des objets spatiaux de l'ONU et sert de secrétariat à l'ICG. Il gère également le Programme des Nations Unies pour l'exploitation de l'information d'origine spatiale aux fins de la gestion des catastrophes et des interventions d'urgence (UN-SPIDER), qui a des bureaux à Vienne, à Bonn et à Beijing www.unoosa.org/

La Conférence du désarmement de l'ONU:

Avec son siège à Genève, elle succède aux Comités du désarmement organisés par l'ONU. Constituée dans les années 1980, elle traite d'un grand nombre de sujets liés au désarmement, et notamment de la « prévention d'une course aux armements dans l'espace » (PAROS), régulièrement inscrite à l'ordre du jour. www.unog.ch/cd

Le Comité d'experts sur la gestion de l'information géospatiale à l'échelle mondiale:

Fondé en 2011, ce comité constitue un forum de coordination et d'échange entre les États membres et les organisations internationales tout en encourageant la collecte et l'exploitation d'informations géospatiales mondiales pour faire face aux enjeux contemporains. <http://ggim.un.org/>

L'Organisation météorologique mondiale:

Fondée en 1950, l'Organisation météorologique mondiale (OMM) est une agence spécialisée des Nations Unies consacrée à la coopération internationale dans les

domaines de la météorologie, de l'hydrologie et autres applications connexes. L'OMM facilite la formulation de politiques et l'échange de données dans ces domaines, tout en gérant des normes et des jeux de données de référence. Le Programme spatial de l'OMM coordonne la disponibilité et l'utilisation de sources de données et de produits issus de l'espace à des fins d'observation de la météorologie et du climat pour les 191 États membres de l'OMM. <https://public.wmo.int/fr>

Les Organisations non Gouvernementales

De nombreuses organisations non gouvernementales, associations professionnelles ou autres groupes contribuent aux activités de coordination des industriels, de communication et de formation. Ces entités peuvent être nationales ou internationales par nature. Elles peuvent se limiter au secteur de l'espace et des satellites, ou inclure l'espace au sein d'un ensemble plus général d'activités aérospatiales et de défense. Les organisations suivantes sont présentées à titre d'exemple.

Le Conseil Asie-Pacifique des communications par satellite:

Le Conseil Asie-Pacifique des communications par satellite (APSCC) est une association internationale à but non lucratif représentant tous les secteurs industriels liés aux satellites ou à l'espace. Il est composé de constructeurs de satellites, d'opérateurs de lancement, de fournisseurs de services satellitaires et de sociétés de gestion des risques des satellites, de fournisseurs de services de télécommunications et de radiodiffusion d'Asie, d'Europe et d'Amérique du Nord. L'APSCC a pour mission de promouvoir le développement et l'utilisation des services de communication et de radiodiffusion par satellite, ainsi que d'autres aspects des activités spatiales dans le but de stimuler la qualité des conditions socioéconomiques et culturelles de la région Asie-Pacifique <http://www.apscc.or.kr/>

La Commercial Spaceflight Federation:

La Commercial Spaceflight Federation (CSF) est une association professionnelle implantée aux États-Unis. Elle se concentre principalement sur le secteur commercial des transports spatiaux. Fondée en 2006, elle regroupe plus de 70 organisations membres. Elle s'efforce avant tout de stimuler l'innovation technologique, de guider l'expansion de la sphère économique, de renforcer le rôle des États-Unis en matière aérospatiale et de développer les talents des ingénieurs et des explorateurs américains de demain. <http://www.commercialspaceflight.org/>

La European Association of Remote Sensing Companies:

Cette association européenne des sociétés de télédétection (EARSC) est une organisation à but non lucratif qui promeut l'utilisation des technologies d'observation de la Terre, en mettant au premier plan les entreprises européennes proposant des produits et des services dans ce domaine. La mission de l'EARSC consiste à stimuler le développement du secteur des services de géo-information en Europe. En décembre 2016, l'EARSC comptait 85 organisations membres. L'adhésion à titre d'observateur est ouverte à toute organisation exploitant ou fournissant des services de télédétection pour l'observation de la Terre et de son environnement, indépendamment du type de capteur ou de sa source (satellite, aéronef ou drone). <http://earsc.org/>

La European, Middle-East, and Africa Satellite Operators Association:

L'association des opérateurs de satellites d'Europe, du Moyen-Orient et d'Afrique (ESOA) a été créée en 2002. Cette ONG représentait alors les exploitants de satellites européens. En 2015, elle s'est ouverte aux opérateurs d'Afrique et du Moyen-Orient. L'ESOA a pour objectif de fédérer les exploitants de satellites mondiaux et régionaux pour les représenter auprès des organisations et des autorités internationales, régionales et nationales, afin de parvenir à une parfaite coordination entre tous les exploitants de satellites de la planète. www.esoa.net

L'Union internationale des radio-amateurs:

Fondée en 1925, l'Union internationale des radio-amateurs (IARU) est un organe de coopération internationale et de coordination des fréquences assignées à des amateurs, y compris ceux qui utilisent des applications d'amateurs par satellite. L'IARU dispose d'une division de coordination des fréquences satellitaires et son conseiller (Satellite Advisor) peut aider à planifier des opérations de télémétrie spatiale, de télécommande spatiale et d'utilisation des fréquences. Certains pays exigent de coordonner les fréquences avec l'IARU pour la transmission depuis l'espace sur certaines fréquences assignées à des amateurs. www.iaru.org/

La Fédération internationale d'astronautique:

Fondée en 1951 par des scientifiques du monde entier recherchant le dialogue et la collaboration dans le domaine de la recherche spatiale, la Fédération internationale d'astronautique (FIA) organise chaque automne le Congrès international d'astronautique dans une ville différente, ainsi que d'autres conférences internationales sur l'exploration du cosmos, les sciences spatiales et des sujets connexes. www.iafastro.org/

L'Institut international de droit spatial:

L'institut international de droit spatial (IISL) a été créé en 1960. Il rassemble des institutions et des personnes choisies sur la base de leurs contributions dans le domaine du droit de l'espace et des sciences sociales connexes. Dans une optique de promotion du développement du droit de l'espace, cet institut organise un colloque annuel au Congrès international d'astronautique en partenariat avec la FIA, dont il publie les actes chaque année. L'IISL organise par ailleurs un concours de plaidoiries en droit spatial et d'autres événements tout au long de l'année. L'Institut international de droit spatial jouit du titre d'observateur permanent au COPUOS et, depuis les dernières années, coorganise un symposium le jour de l'ouverture de la session du Sous-Comité juridique du COPUOS. www.iislweb.org

L'Organisation internationale de normalisation:

Avec son siège à Genève, l'Organisation internationale de normalisation (ISO) est une entité indépendante composée de 163 organismes de normalisation nationaux. Grâce à ses membres, elle réunit des experts pour partager des connaissances et élaborer (sur la base du volontariat, du consensus et de la pertinence pour le marché) des normes internationales qui encouragent l'innovation et apportent des solutions face à des enjeux mondiaux. L'ISO dispose d'un comité technique Aéronautique et espace (TC 20) et de plusieurs sous-comités, notamment : Systèmes de transfert des informations et données spatiales (SC 13) et Systèmes spatiaux, développement et mise en œuvre (SC 14). www.iso.org/fr/home.html

L'Open Geospatial Consortium:

Cette organisation à but non lucratif se consacre à l'élaboration et à la publication de normes libres (open source) destinées à la communauté géospatiale internationale. Ses membres peuvent être des représentants privés des secteurs de la télédétection spatiale, aérienne et terrestre, des agences étatiques, des universitaires, des centres de recherche et des ONG. L'Open Geospatial Consortium développe ses normes par consensus, au service de l'interopérabilité et du partage des données géospatiales, indépendamment de leur source. Ce consortium réunit à ce jour plus de 500 organisations du monde entier. www.ogc.org/

La Satellite Industry Association:

Cette association professionnelle américaine représente le secteur des satellites commerciaux. Formée en 1995 par plusieurs des principales entreprises du domaine, elle ouvre un espace de discussion des enjeux du secteur et de formulation de positions cohérentes sur les activités commerciales, les questions juridiques et

les politiques qui concernent l'ensemble des industriels. Elle a établi des groupes de travail qui se penchent sur un grand nombre de sujets, comme les services étatiques, la sûreté publique, les politiques de contrôle des exportations, les enjeux du commerce international et les questions de réglementation (octroi de licences de satellites, allocation du spectre des fréquences et politiques de réglementation). La Satellite Industry Association s'impose à présent comme un interlocuteur notable pour l'ensemble du secteur des satellites à Washington. Elle représente et défend les positions des industriels auprès des décideurs politiques influents du Congrès et de la Maison Blanche, de la Commission fédérale des communications et de la plupart des départements et des agences du pouvoir exécutif des États-Unis <http://www.sia.org/>

Le Groupe de coordination des fréquences spatiales:

Le Groupe de coordination des fréquences spatiales se compose de divers membres, comme des agences spatiales et des organisations internationales. Il travaille de façon informelle à l'élaboration de résolutions et de recommandations traduisant des accords administratifs et techniques destinés à limiter les risques de brouillage des fréquences. L'efficacité de ses recommandations dépend de leur acceptation et de leur mise en œuvre volontaires par ses membres. www.sfcgonline.org/



Mazlan Othman, PhD

Ancienne directrice du Bureau
des affaires spatiales
des Nations Unies

La gouvernance des affaires spatiales d'une nation repose à la fois sur sa politique spatiale et sur son système administratif. Cette structure rend possible la réglementation des acteurs du domaine spatial et de leurs actes en les alignant avec les objectifs nationaux de développement et les obligations légales internationales du pays.

INTRODUCTION

Ce chapitre traite des politiques spatiales nationales destinées à définir les rôles et responsabilités des différents acteurs et parties prenantes. Il explicite les différentes composantes de l'écosystème du domaine spatial, en décrivant notamment les investissements du secteur privé, les intérêts des entités non gouvernementales et de la société civile, le rôle fondamental des sciences et technologies, ainsi que la mise en œuvre du contrôle des exportations et des importations.

Par ailleurs, dans le cadre des obligations internationales d'un État, un mécanisme de contrôle national est indispensable. Ce chapitre présente les différentes autorités de surveillance dont la compétence en matière d'octroi de licences, de gestion des fréquences, de contrôle des exportations, de contrats, de règlement des différends et de responsabilité doit être soulignée.

Enfin, ce chapitre illustre la nécessité d'une bonne orchestration des politiques et de la supervision en présentant le cas de l'observation de la Terre.

Les quelques enjeux évoqués ici relèvent de la multitude de problématiques auxquelles une nation doit faire face dans la gestion complexe de ses activités spatiales. Lorsque j'ai lancé le programme spatial national de la Malaisie il y a 25 ans, nombre de ces aspects étaient entourés de secret et m'étaient largement étrangers. Les orientations fournies dans ce guide seront donc fort utiles aux nouveaux arrivants dans le secteur spatial.

Ce chapitre propose un aperçu de la façon dont les États créent des cadres nationaux pour les activités spatiales grâce à des politiques et à des réglementations, et en expose les raisons. Une politique est un principe ou un ensemble de principes permettant d'orienter les décisions et les actes.

Dans le contexte gouvernemental, le terme de « politique publique » fait référence aux raisons pour lesquelles des autorités suivent des voies d'action ou d'inaction déterminées, comment elles y parviennent et à quel effet. Les décisions de politique publique impliquent souvent de peser les effets positifs et négatifs potentiels de différents choix. La complexité de ces décisions est accrue par la participation de nombreux groupes d'intérêts et acteurs politiques défendant des objectifs concurrents au cours du processus décisionnel. Par ailleurs, l'« administration publique » consiste à mettre en œuvre des politiques grâce à une organisation étatique hiérarchisée, à établir des programmes et des institutions, et à gérer au quotidien des services et des activités.

Ce chapitre est divisé en deux sections principales. La première se concentre sur les aspects de politique publique nationaux. Elle traite notamment des diverses manières d'établir une politique spatiale, des motivations des États pour mettre en place une politique nationale, des relations entre l'espace et les politiques en matière de science, de technologie et d'innovation, et enfin du rôle de la coopération internationale. La deuxième section porte sur l'administration publique, c'est-à-dire la manière dont les États mettent en œuvre leurs propres politiques nationales et leurs obligations internationales au moyen de structures administratives et réglementaires.

LES POLITIQUES PUBLIQUES

Trois principes essentiels sont au cœur du cadre international des activités spatiales : la liberté d'exploration et d'utilisation de l'espace, les fins pacifiques et la responsabilité des États. Ces principes, tels qu'énoncés dans les cinq traités fondamentaux qui définissent les bases du droit international de l'espace, se reflètent dans de nombreux autres dispositifs juridiques et politiques qui façonnent le cadre international des activités spatiales. Les sections suivantes donnent un aperçu de chacun d'entre eux.

Les politiques peuvent être mises en œuvre de nombreuses manières, qui peuvent intervenir simultanément. Le respect des traités et accords internationaux, bilatéraux et multilatéraux qui lient un État en est une. Les politiques nationales peuvent également être formulées explicitement grâce à des processus décisionnels officiels, comme ceux des commissions gouvernementales ou des organes législatifs. Enfin, les politiques peuvent découler implicitement du choix de ne pas suivre une certaine voie et être la manifestation d'un environnement culturel ou idéologique qui influe sur les choix et les décisions. Pour les États où la séparation entre les pouvoirs exécutif et législatif est clairement marquée, les politiques peuvent manquer de cohérence et même s'avérer contradictoires.

Dans le contexte spatial, les politiques peuvent adopter bien des formes. Certains États décident de mettre en place une politique spatiale nationale qui peut s'accompagner ou non de politiques plus spécifiques concernant des secteurs précis comme les lancements, les communications ou l'observation de la Terre. D'autres États optent pour des politiques à l'échelle organisationnelle, ou au moyen d'une législation définissant des programmes et projets précis. La publication de la politique et des stratégies spatiales nationales (c'est-à-dire les textes où un gouvernement décrit les priorités et les objectifs spatiaux nationaux) est un moyen de faire état des intentions et des priorités d'un programme spatial national. Cela donne également des indications sur la part du budget d'un État potentiellement consacrée aux activités spatiales, ce qui contribue à encore plus de transparence. Par ailleurs, l'élaboration d'une politique nationale ou d'une stratégie spatiale oblige un gouvernement à un débat en interne à propos des priorités et des objectifs de son programme spatial, ce qui peut ensuite être utilisé pour étayer les débats nationaux et internationaux. La section suivante propose un aperçu des différents usages des politiques spatiales et de leurs éléments communs.

Logique, objectifs et principes

Une politique spatiale nationale expose les raisons de l'engagement d'un État dans des activités spatiales. Les motivations et la logique de cette démarche peuvent varier considérablement d'un pays à l'autre. Certains États décident de se consacrer à l'ensemble des domaines spatiaux et couvrent le secteur commercial, les activités civiles et la défense. D'autres se concentrent sur des activités déterminées ou en excluent certaines. Ce choix peut parfois refléter une décision nationale quant à l'interprétation de la notion d'utilisation pacifique de l'espace, ou encore l'approche idéologique des relations d'un État avec le secteur privé. La communication publique et explicite sur les raisons des activités spatiales peut s'inscrire dans une stratégie visant à stimuler le soutien politique en interne afin d'obtenir des financements et des ressources.

Les politiques spatiales nationales définissent également les finalités des activités choisies. Cela permet de donner des orientations de haut niveau sur les objectifs d'un État. Il peut s'agir de buts précis, comme l'accomplissement d'une tâche dans un délai déterminé, ou plus généraux, comme le renforcement du prestige d'un pays. En affirmant explicitement ces objectifs, un État envoie un signal aux autres pays, tout en contribuant à stimuler le soutien et la motivation de ses ressortissants pour des activités et des programmes spatiaux définis.

Une politique nationale peut également énoncer les principes qui président à la conduite des activités spatiales. Ceux-ci peuvent servir à réaffirmer ou à démontrer le respect des accords et traités internationaux et à exalter des valeurs nationales fondées sur des bases historiques, culturelles ou idéologiques. Les principes d'une politique spatiale peuvent également former la base de politiques de niveau inférieur dans des secteurs spécifiques, comme la sécurité nationale ou l'espace commercial.

Les promoteurs d'une nouvelle activité spatiale pour un pays ont intérêt à évaluer la compatibilité de leurs propositions avec les politiques et les principes d'État qui s'appliquent au domaine spatial. Le processus de planification doit prévoir des stratégies pour surmonter d'éventuelles incompatibilités fortes.

Les promoteurs d'une nouvelle activité spatiale pour un pays ont intérêt à évaluer la compatibilité de leurs propositions avec les politiques et les principes d'État qui s'appliquent au domaine spatial. Le processus de planification doit prévoir des stratégies pour surmonter d'éventuelles incompatibilités fortes.

Étude de cas : la mission martienne des Émirats arabes unis

En juillet 2014, les autorités des Émirats arabes unis annoncent leur intention de concevoir un engin spatial robotisé destiné à être placé en orbite martienne. Ce projet traduit une ambitieuse extension des activités spatiales du pays, qui se concentrait jusqu'alors sur la télédétection et les communications. Il coïncide par ailleurs avec la fondation de l'agence spatiale des Émirats arabes unis. La décision du pays

de préparer une mission scientifique d'exploration martienne fait appel à de nombreux objectifs et facteurs caractéristiques des programmes spatiaux nationaux en général.

Les autorités des Émirats avancent trois motivations pour ce projet : sa portée évocatrice et sa force d'inspiration, son rôle d'accélérateur de savoirs et de compétences, et enfin sa vocation de projet de référence pour le secteur industriel spatial du pays. Le lancement de cet engin adoptera une forte valeur symbolique : la sonde devrait atteindre Mars en 2021 pour le 50e anniversaire de l'indépendance du pays. Cette mission a été baptisée « Hope » dans le but avoué d'envoyer un message d'optimisme. Les Émirats arabes unis ont défini des objectifs scientifiques précis. Des universités locales sont associées à la réalisation de ces activités. Le véhicule et les éléments de support de la mission seront intégralement fabriqués par des citoyens émiriens, près de 150 personnes contribuant au programme.

Malgré sa teneur nationale affirmée, ce programme démontre également le rôle que les partenariats internationaux jouent souvent dans l'exécution des objectifs spatiaux nationaux. La sonde sera emportée par un lanceur japonais. Par ailleurs, les pouvoirs publics des Émirats ont conclu plusieurs accords de coopération avec d'autres nations (dont les États-Unis et la Russie) pour l'échange d'informations liées aux sciences et à l'exploration martiennes. Grâce à ces accords, les Émirats arabes unis cherchent à renforcer la formation et les connaissances de leurs scientifiques et de leurs ingénieurs. À ces fins, l'agence spatiale des Émirats arabes unis a conclu un accord avec la société Lockheed Martin pour mener un programme de formation en matière de compétences spatiales destiné aux étudiants et aux jeunes professionnels. Bien qu'il ne soit pas exclusivement lié à la mission martienne, ce programme atteste de la volonté des Émirats d'associer activités spatiales et renforcement des capacités scientifiques et techniques.

Les rôles et les responsabilités des États

Les politiques spatiales nationales ont également pour fonction de cerner les rôles et les responsabilités des diverses agences et entités d'un pays quant au respect de ses obligations liées au cadre international présenté au chapitre UN. Les États doivent assigner des responsabilités aux services nationaux chargés de diverses fonctions comme la gestion des fréquences des satellites de communication, l'octroi des licences correspondantes ainsi que de celles des satellites de télédétection, et la tenue d'un registre national des objets spatiaux.

Les États disposent de multiples possibilités de répartition des rôles et des responsabilités. Certains pays optent pour une organisation unique centralisant l'ensemble des activités spatiales. Bien plus fréquemment, diverses entités gouvernementales assument séparément les divers aspects des activités spatiales et de la supervision. Cette répartition des tâches peut être fonctionnelle, en attribuant par exemple à diverses agences la responsabilité de l'octroi de licences en fonction de leur compétence. Le travail peut également être divisé entre activités civiles et militaires, afin de faciliter leur perception publique et la coopération internationale sans compromettre la sûreté en exposant des technologies ou des moyens sensibles.

Une politique spatiale nationale peut également servir à organiser la coordination entre les agences et entités d'un pays. Si les rôles et les responsabilités sont répartis entre de multiples agences, certains services ont souvent besoin de se coordonner avec d'autres entités. Cette concertation ne coule pas de source. Elle peut éveiller des querelles de pouvoir, de compétence et de budget. Une politique spatiale peut aider à coordonner différentes agences dans les situations où leurs responsabilités se recoupent, ou bien orchestrer la coordination avec le secteur privé ou des entités internationales afin de réaliser ses objectifs en vertu des principes définis.

En matière de politiques spatiales nationales, le processus décisionnel compte beaucoup et il peut varier énormément d'un État à l'autre. À l'échelle gouvernementale, la prise de décision contribue à assurer la cohérence des politiques spatiales avec les objectifs plus généraux concernant par exemple la politique étrangère ou l'innovation. Les décisions prises unilatéralement par des agences étatiques sans coordination ni consultation des autres parties prenantes comme le secteur privé risquent d'être insatisfaisantes. En effet, les barrières entre les activités spatiales commerciales, civiles et militaires deviennent de plus en plus floues. La plupart des technologies spatiales étant caractérisées par le double

usage, les décisions politiques en matière de technologie spatiale doivent trouver un juste équilibre entre la maîtrise des accès à ces technologies pour limiter les risques concernant la sécurité nationale et l'ouverture de ces moyens pour en optimiser les retombées socioéconomiques. En conséquence, les décisions liées aux activités spatiales découlent souvent de la coordination et de la collaboration des principales agences et entités étatiques. Elles peuvent tirer de nombreux bénéfices des apports des organes consultatifs qui représentent d'autres parties prenantes au sein de l'appareil d'État comme en dehors.

Il est important pour les nouveaux acteurs du domaine spatial que les politiques et les responsabilités nationales soient correctement exécutées par les administrations. Ils doivent déterminer les meilleures manières de respecter leurs obligations internationales tout en défendant leurs priorités nationales.

Si les orientations spatiales de chaque pays reflètent de façon singulière ses politiques, sa culture et ses priorités, plusieurs enjeux communs concernent de nombreux États. Ces questions traduisent les défis auxquels les pays sont confrontés et les priorités que les États cherchent à promouvoir par leurs politiques spatiales.

Il est important pour les nouveaux acteurs du domaine spatial que les politiques et les responsabilités nationales soient correctement exécutées par les administrations. Ils doivent déterminer les meilleures manières de respecter leurs obligations internationales tout en défendant leurs priorités nationales

Le rôle de l'espace dans les politiques de science, de technologie et d'innovation

Les retombées socioéconomiques incontestables des activités orbitales pour les puissances spatiales bien établies comme les États-Unis et l'Inde figurent parmi les motivations clés des pays qui commencent tout juste à investir dans ce domaine. Les activités spatiales sont souvent liées à des objectifs stratégiques plus généraux en matière de science, de technologie et d'innovation. Elles peuvent faire appel à de hauts niveaux d'investissement dans les sciences fondamentales et la recherche-développement afin de contribuer à l'économie nationale dans d'autres secteurs que l'espace. En ce sens, une politique spatiale peut s'inscrire

dans le cadre des orientations de science, de technologie et d'innovation. Le secteur spatial peut être l'un des domaines d'innovation clés, au même titre que l'énergie, l'aéronautique, la santé publique et l'informatique.

Les politiques de science, de technologie et d'innovation se concentrent généralement sur les interactions entre des acteurs étatiques, du milieu universitaire et de l'industrie compétents en matière d'éducation, de sciences fondamentales et appliquées, de technologies et d'innovation. La coordination des efforts des différents intervenants représente souvent un défi crucial, de même que la capacité des acteurs économiques à adopter des produits ou des processus innovants. Il est particulièrement difficile de passer de la recherche fondamentale à l'adoption commerciale d'un produit. Ce parcours semé d'embûches a parfois été surnommé « vallée de la mort ». De ce fait, les politiques de science, de technologie et d'innovation viseront non seulement à stimuler l'innovation (en définissant des règles de propriété intellectuelle, en accordant des subventions de recherche...), mais aussi à développer des mécanismes de soutien à l'innovation tout au long des différents cycles de développement afin de dégager les avantages économiques souhaités.

À titre d'exemple, le programme national d'innovation du Mexique souligne le rôle de l'innovation pour une croissance économique durable. Il met également en lumière le besoin de politiques fédérales et locales favorisant un système économique productif reposant sur l'innovation. Le renforcement de la productivité et de la compétitivité des secteurs des produits manufacturés et des services constitue un objectif essentiel. En matière d'espace, le Mexique a développé un sous-ensemble de politiques et de programmes à l'échelon fédéral et à celui des états dans le but d'encourager l'innovation dans ce secteur. Il s'agit notamment d'établir des regroupements d'entreprises du secteur aérospatial afin d'attirer des investissements étrangers et d'améliorer la compétitivité des sociétés de cette branche sur le marché mondial.

Parmi les premiers objectifs des politiques de science, de technologie et d'innovation, on trouve souvent le développement d'une main-d'œuvre hautement qualifiée moyennant des investissements de formation en sciences, en technologie, en ingénierie et en mathématiques. L'enrichissement du capital humain est jugé fondamental pour les politiques industrielles. Il contribue à préparer des capacités de niche et à freiner l'émigration de personnes compétentes ou hautement qualifiées, phénomène connu sous le nom de « fuite des cerveaux ». La Malaisie, par exemple, œuvre depuis plusieurs années à la construction d'une véritable

économie de la connaissance. Cet objectif politique avoué constitue un facteur de motivation essentiel pour la constitution de son agence spatiale nationale. Cette agence est chargée de concrétiser l'ambition nationale de *maîtriser l'espace en tant que vecteur de connaissances, de richesses et de bien-être sociétal*. Cette motivation se reflète également dans la pratique de nombreux pays qui cherchent à établir des partenariats comportant un volet de renforcement des capacités dans le but de développer leur capital humain et d'étoffer les compétences technologiques nationales.

Envisager les activités spatiales dans le cadre plus général de la science, de la technologie et de l'innovation peut contribuer à répondre à des questions déterminantes sur les objectifs à long terme de ces démarches, sur leurs relations avec les autres recherches scientifiques et technologiques, et sur la meilleure manière de coordonner les efforts des acteurs étatiques et des autres acteurs.

La coopération internationale

La coopération internationale s'inscrit au cœur de la plupart des programmes spatiaux. En fonction des objectifs, elle peut adopter de multiples aspects, de la coopération multilatérale à l'échelon international ou régional à la coopération bilatérale entre deux pays. En fonction des modalités, les pays peuvent désigner des agences ou des institutions spécifiques pour les représenter. Cependant, les activités peuvent également faire appel à d'autres agences ou services et à des représentants non gouvernementaux, comme des industriels ou des universitaires.

À l'échelle multilatérale, la participation active aux forums essentiels dédiés à l'espace (p. ex. : COPUOS, UIT) ainsi qu'aux forums sur la coopération dans des domaines d'application précis (p. ex. : Groupe sur l'observation de la terre) est souvent considérée comme un engagement fondamental. Les États y voient une manière d'y jouer un rôle de premier plan et de s'assurer que leurs vues sont prises en compte dans les discussions internationales. Il s'agit également de diffuser des informations sur leurs activités spatiales et d'apprendre des travaux de leurs homologues. Cette participation peut ainsi influencer les débats politiques nationaux.

À l'échelle régionale ou bilatérale, les pays peuvent adopter divers mécanismes pour formaliser leurs relations : publication de déclarations conjointes, signature d'accords de coopération pour conduire ensemble des activités définies ou échanger des données, mise en commun de ressources institutionnelles ou financières dans un programme coopératif, ou toute autre méthode. Des organisations régionales

de coopération spatiale ont également émergé afin de renforcer la coopération des acteurs et la coordination des activités à une échelle plus localisée. Par exemple, le Forum régional Asie-Pacifique des agences spatiales vise à promouvoir les activités spatiales dans cette région du monde. Il réunit des institutions de plus de 40 pays participants.

Cette section n'a pas vocation à présenter une description exhaustive des nombreux mécanismes mis en place pour faciliter la coopération internationale. Il convient cependant de souligner ici que la coopération internationale s'exerce rarement de façon désordonnée, mais qu'elle relève souvent de considérations politiques et stratégiques plus générales. La coopération internationale est souvent considérée à la fois comme un mécanisme et un objectif. Elle peut donc être revendiquée dans les documents de politique. En tant que mécanisme, la coopération spatiale permet aux participants de valoriser l'expertise, les investissements et les ressources de leurs homologues au profit de leurs programmes par l'acquisition directe de matériel ou le développement conjoint de capacités techniques.

La coopération internationale peut également être stimulée par des objectifs politiques plus ambitieux et s'inscrire dans une stratégie de promotion d'objectifs de politique étrangère, d'innovation ou de politique commerciale. Les deux aspects sont souvent intimement liés pour les pays émergents dans le secteur spatial. La politique spatiale du Chili, par exemple, qualifie la coopération internationale d'initiative déterminante parmi les efforts de promotion de domaines prioritaires comme le capital humain et l'innovation. Pour le Chili comme pour d'autres pays d'Amérique latine et de la région des Caraïbes, la coopération internationale (notamment bilatérale et régionale) est considérée comme une priorité permettant d'augmenter des ressources limitées tout en soutenant des objectifs stratégiques et politiques connexes.

D'autres États recherchent la coopération internationale comme une mesure supplémentaire permettant d'encourager des relations positives avec d'autres pays. Un document d'orientation sur l'Amérique latine et les Caraïbes daté de 2008, par exemple, décrit les objectifs d'engagement de la Chine auprès des pays de la région, avec notamment des partenariats avec le Venezuela et la Bolivie.

En ce sens, les politiques spatiales nationales peuvent énoncer les objectifs et les priorités des efforts de coopération internationale. Cette démarche contribue à informer les autres pays sur les finalités et les priorités d'un engagement spatial, à renforcer la transparence sur les activités auprès des nations partenaires et à inviter de nouveaux acteurs à appréhender des possibilités de coopération.

Le contrôle des exportations et les transferts de technologie

Le sujet du contrôle des exportations s'accompagne toujours d'une équation épineuse. En effet, l'accès à l'espace devient de plus en plus facile, notamment grâce à de nouveaux acteurs privés en pleine expansion. Comment trouver alors le juste équilibre entre la maîtrise de la prolifération de technologies militaires sensibles et le développement commercial et l'innovation ? Cela s'avère particulièrement difficile à résoudre pour un État qui soutient et stimule une base industrielle (ce qui constitue l'objectif de nombreuses stratégies spatiales nationales) puisque le contrôle des exportations est perçu comme une composante indispensable de la garantie de la sûreté nationale et de l'assurance d'un environnement spatial stable et maîtrisé. L'équilibre entre efficacité et intérêts commerciaux d'une part et sûreté nationale d'autre part est difficile à trouver. Une autre approche consiste à envisager cette problématique dans le cadre d'une discussion globale sur la recherche de l'innovation tout en minimisant les risques.

En gardant à l'esprit les enjeux internationaux du contrôle des exportations traités au chapitre UN (« Le contrôle international des exportations »), les restrictions d'exportation nationales sont extrêmement difficiles à mettre en œuvre. En conséquence, elles ne peuvent être mises en place qu'après des échanges extrêmement complets avec toutes les parties prenantes, notamment les industriels, et uniquement lorsqu'un gouvernement dispose d'une solide compréhension des objectifs qu'il vise en matière de contrôle des exportations. Sans les avis des parties prenantes, l'industrie d'un pays pourrait subir de graves difficultés sans que les avantages en matière de sûreté nationale soient vraiment significatifs. Les États doivent se prémunir des conséquences fortuites. Dans certains cas, par exemple, la modification des contrôles des exportations a créé de nouveaux obstacles pour les plus petits acteurs du secteur spatial. Le sujet doit être traité de la façon la plus large possible lors de la création de réglementations concernant un secteur d'activité. Il convient également d'ouvrir le débat avec les industriels et de s'assurer que tous les aspects d'un problème sont envisagés.

Il est difficile de recenser précisément toutes les technologies qui doivent être contrôlées, notamment en matière de technologies spatiales, qui sont nombreuses à avoir un double usage. En matière de contrôle des exportations, l'un des principaux écueils est lié au décalage entre la vitesse d'évolution des technologies et les pesanteurs des régimes juridiques. Ce phénomène peut être constaté actuellement, notamment en ce qui concerne le développement de logiciels. Les réglementations des exportations sont-elles vraiment efficaces lorsqu'elles protègent essentiellement des technologies dépassées ? Autre problème majeur :

par nature, les contrôles des exportations portent sur les biens ou les technologies elles-mêmes et non sur la façon de les utiliser. Ce principe s'oppose à l'un des enseignements tirés de l'exploitation de technologies à double usage : il est plus judicieux de se concentrer sur les actions et les utilisations des produits que sur la technologie elle-même.

Les États émergents dans le domaine spatial doivent étudier des moyens d'équilibrer leurs mesures de protection de la sécurité du pays et leur rôle de soutien à l'industrie nationale et à l'innovation. Quant aux acteurs non étatiques, ils doivent intégrer le plus tôt possible dans leur planification l'ensemble des régimes de contrôle des exportations en vigueur.

Les relations entre les pouvoirs publics et le secteur privé

Les pouvoirs publics jouent différents rôles dans leurs interactions avec le secteur privé : ils peuvent être législateurs, clients, fournisseurs (de technologies et de propriété intellectuelle), collaborateurs ou encore concurrents. La façon dont ces différentes modalités s'exercent influence puissamment le développement du secteur spatial au-delà du programme gouvernemental d'un pays donné. Les pouvoirs publics jouent un rôle de régulation

sur les marchés, mais leur pouvoir en qualité de consommateurs est également considérable. Ils doivent être bien conscients de la façon dont leurs échanges avec le secteur privé lors de l'achat de biens et de services pèsent à la fois sur le développement de l'industrie et sur l'évolution des stratégies et programmes spatiaux étatiques.

Les États émergents dans le domaine spatial doivent étudier des moyens d'équilibrer leurs mesures de protection de la sécurité du pays et leur rôle de soutien à l'industrie nationale et à l'innovation. Quant aux acteurs non étatiques, ils doivent intégrer le plus tôt possible dans leur planification l'ensemble des régimes de contrôle des exportations en vigueur.

Les autorités nationales peuvent opter pour le développement des compétences et des services nécessaires en interne et se dispenser totalement de faire appel au secteur privé. Cette approche peut s'avérer préférable dans différentes situations : parfois, la capacité recherchée n'est proposée par aucune entreprise privée ; par ailleurs, le développement de capacités précises peut avoir été classé parmi les attributions essentielles d'un État (p. ex. : capacité exploitée à des fins de sécurité nationale) ; enfin, la capacité peut servir à fournir un bien public. Le développement de capacités au sein de la structure d'État garantit aux autorités la maîtrise absolue de l'exécution du programme ainsi que de toute propriété intellectuelle développée. Cela peut aider cet État à se maintenir au fait des avancées technologiques, tout en contribuant à la compétence des fonctionnaires concernés par l'exécution du programme. Cependant, le travail en interne présente un certain nombre de désavantages par rapport à des entreprises intégralement privées, comme le manque de transparence, ainsi que des problèmes potentiels de coûts et d'efficacité. Les pouvoirs publics doivent également rester informés de capacités similaires mises en œuvre par des sociétés privées. Il s'agit de vérifier que les approches nationales restent pertinentes par rapport à des capacités privées comparables.

En sous-traitant certains travaux, les États contribuent à stimuler l'économie de marché, ce qui, en théorie, soutient des objectifs de développement économique plus généraux. La concurrence peut également susciter des solutions plus innovantes que celles qui auraient été mises en œuvre par l'État. En général, la sous-traitance a pour but de mettre à disposition des capacités de façon moins coûteuse et plus efficiente qu'en les développant en interne. Cependant, elle implique des coûts administratifs à la fois pour l'État et pour les sociétés privées, plus précisément en matière de supervision administrative et de suivi de l'exécution. En général, les contrats privés octroient aux pouvoirs publics un certain degré de supervision et de compétence pour déterminer la qualité attendue, les indicateurs de réalisation du contrat et les délais d'exécution. Pourtant, tout processus de sous-traitance implique une certaine perte de contrôle sur l'élaboration des capacités souhaitées. Par ailleurs, cela peut créer des relations de dépendances entre un État et les sociétés retenues. Les pouvoirs publics peuvent se retrouver tributaires d'un ou plusieurs fournisseurs concernant une compétence incontournable et les entreprises peuvent également se voir dépendre des autorités nationales, principales pourvoyeuses de revenus essentiels.

C'est notamment à cause de ces risques que les États adoptent de plus en plus des approches de type partenariat public-privé. Celles-ci visent généralement à

développer des capacités en misant sur un investissement conjoint des autorités nationales et du secteur privé, qui ont un intérêt commun dans la réussite des activités. Souvent, un gouvernement définit ses besoins et certaines exigences élémentaires, tout en accordant un certain volume de financement. Les capacités à acquérir correspondent à des biens ou services que le secteur commercial peut utiliser pour des contrats non gouvernementaux. Le financement de l'État doit être complété par des investissements et du capital apportés par le secteur commercial. Si de telles dispositions accordent moins de maîtrise aux pouvoirs publics sur l'exécution du projet, elles peuvent permettre d'obtenir des résultats à un coût inférieur à celui des contrats traditionnels. Les participants privés sont tenus d'apporter leur propre financement. Cependant, ils peuvent rester propriétaires de leurs produits et des droits de propriété intellectuelle découlant des travaux menés.

Ce type d'activités peut également servir à stimuler le renforcement de capacités exigeant un appui étatique pour surmonter les coûts initiaux de recherche et de développement.

Par ailleurs, les États peuvent également s'approvisionner de manière purement commerciale. Dans ce cas, le secteur privé propose des biens à un prix standard, généralement sur catalogue. L'administration peut acheter ces biens au moyen d'une simple transaction commerciale, comme dans tout acte de vente entre entreprises. Cette approche implique généralement une charge administrative moindre que la sous-traitance. Elle est généralement employée pour l'achat de marchandises en gros. Les pouvoirs publics peuvent ainsi s'approvisionner rapidement et efficacement. En revanche, ils ne maîtrisent pas les processus de conception et d'élaboration des capacités.

Les nouveaux acteurs, que ce soient des États qui se lancent dans les activités spatiales ou des sociétés privées, doivent garder à l'esprit que les approches des pouvoirs publics envers le secteur spatial privé ou commercial influencent grandement les perspectives commerciales des entreprises privées.

Les autorités nationales peuvent également obtenir des capacités grâce à des subventions. Cette modalité s'emploie généralement dans les situations où une administration souhaite se procurer des services, des activités ou des résultats de recherche ou de développement technologique. Les subventions offrent une grande flexibilité d'exécution et sont compatibles avec de très nombreuses activités. Elles sont parfaitement adaptées aux travaux dont l'objectif est plus la recherche que l'exploitation d'un produit ou d'un service. En général, une subvention définit un sujet de recherche et un calendrier d'exécution et de livraison des résultats. Les pouvoirs publics ne disposent pas d'une grande latitude pour déterminer les modes d'exécution ou les méthodologies, et ils n'exigent pas de rapports très fréquents de la part des bénéficiaires.

Les nouveaux acteurs, que ce soient des États qui se lancent dans les activités spatiales ou des sociétés privées, doivent garder à l'esprit que les approches des pouvoirs publics envers le secteur spatial privé ou commercial influencent grandement les perspectives commerciales des entreprises privées.

Étude de cas :

Satellite Applications Catapult, au Royaume-Uni

En mai 2013, les pouvoirs publics du Royaume-Uni créent une entité nommée United Kingdom Satellite Applications Catapult. Elle a pour objectif de stimuler la croissance économique dans le pays en soutenant la conception, la commercialisation et l'exploitation d'applications satellitaires. Conformément à son plan d'exécution 2015-2020, Satellite Applications Catapult (figure 8) vise à encourager la conception d'applications et de technologies satellitaires et à accélérer la commercialisation de nouveaux produits et services par le secteur industriel du pays. Satellite Applications Catapult est l'un des 11 volets du programme Catapult du Royaume-Uni, lesquels sont tous consacrés à des technologies et des domaines d'applications différents. Le programme Catapult constitue un centre de recherche privé à but non lucratif. Il est dirigé par un conseil d'administration rassemblant des représentants de l'Agence spatiale du Royaume-Uni (UKSA) et d'Innovate UK, une organisation gouvernementale chargée de promouvoir le développement technologique et économique.

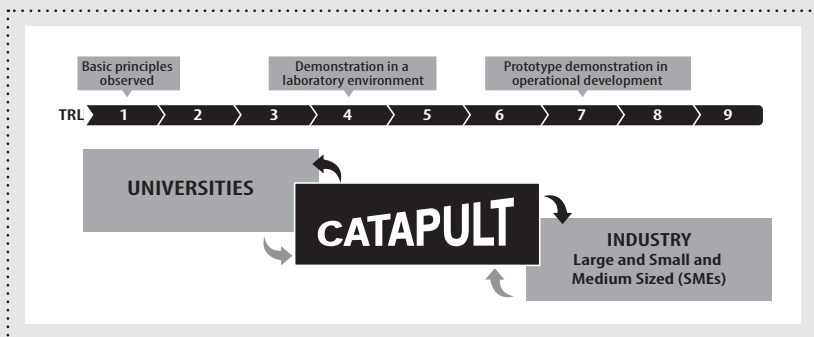


Figure 8 – The UK Satellite Applications Catapult

Source: Adapted from Satellite Applications Catapult Peterborough Industry Day Presentation, February 2015.

Le réseau Catapult a été déployé dans l'ensemble du Royaume-Uni. Il vise à dynamiser l'innovation et à renforcer les capacités du secteur industriel du pays à commercialiser les produits des puissantes capacités de recherche fondamentale nationales valorisées par les pouvoirs publics. En novembre 2014, le gouvernement du Royaume-Uni publie son plan d'action pour la croissance dans le domaine spatial, fondé sur l'innovation et une stratégie de croissance. Ce plan projette d'augmenter les recettes annuelles du secteur spatial du pays de 1,3 milliard de livres sterling (octobre 2014) à 40 milliards d'ici 2030. Depuis lors, Satellite Applications Catapult figure parmi les politiques stratégiques du Royaume-Uni contribuant à cet objectif.

Le programme Catapult vise à renforcer les exportations, élément déterminant pour obtenir la croissance escomptée. À ces fins, ses programmes soutiennent le développement de produits reposant sur des applications satellitaires. Catapult collabore étroitement avec des entreprises (et avec le monde universitaire) pour surmonter les énormes difficultés qui freinent la commercialisation d'une technologie ou d'un produit issu de la recherche fondamentale. Ce parcours tortueux, parfois surnommé « vallée de la mort », découle du manque de financements et de ressources auquel les concepteurs font souvent face entre les étapes de recherche fondamentale et la mise sur le marché.

Le programme Catapult ne constitue pas une agence de financement en soi. Il n'accorde pas de subventions directes ou de financement à des industriels ou des universitaires. Il s'agit plutôt de ressources techniques, de réseaux et d'infrastructures destinés à soutenir les sociétés du Royaume-Uni qui souhaitent développer et commercialiser des applications satellitaires. Le programme Catapult dispose d'installations techniques, comme des laboratoires, des équipements d'essai et des moyens informatiques, sur son campus central. Ces infrastructures sont accessibles en location pour mener à bien tout projet de conception. L'équipe de Catapult organise régulièrement des ateliers et autres événements permettant de développer les réseaux. Elle s'efforce de tisser des relations entre les entreprises du Royaume-Uni et leurs partenaires étrangers, et de susciter des perspectives commerciales. Elle aide activement les sociétés du Royaume-Uni à attirer des capitaux privés et entretient des relations avec les sources de financement, comme le réseau Space Angels. Catapult épaulé également les sociétés britanniques afin de cerner les ressources en propriété intellectuelle et en capital humain nécessaires pour leurs objectifs commerciaux. Enfin, Catapult peut s'associer à des sociétés pour exploiter des perspectives commerciales déterminées, en développant conjointement des projets d'applications satellitaires pour profiter de sources de financement disponibles.

Les droits de propriété

Les droits de propriété et de contrôle d'un objet spatial sont protégés pour l'État chargé de son lancement et de son immatriculation (de même que pour ses ressortissants dans la mesure où cet État leur accorde ces droits). Ces droits peuvent également être garantis à un État achetant un lancement à un autre pays. Les autres droits de propriété tangibles sont moins établis.

En droit international, par exemple, il n'existe aucun mécanisme clairement défini concernant le transfert de juridiction à un État qui n'effectue pas le lancement dans les cas de vente ou de transfert de satellites. Les États d'immatriculation sont généralement également États de lancement. La renonciation à l'immatriculation

sur les registres d'un État suivie d'une nouvelle immatriculation dans un autre pays semble être la seule voie possible pour transférer une compétence juridictionnelle nationale de façon claire et transparente. La section « L'immatriculation des objets spatiaux » du chapitre UN et la résolution 62/101 de l'Assemblée générale de l'ONU en décrivent les modalités.

Concernant les droits sur les ressources, il est possible de se procurer des échantillons de matériaux spatiaux, mais les droits commerciaux sur des ressources naturelles issues de l'extraction dans l'espace font l'objet de nombreuses discussions. À ce jour, aucun cas concret ne s'est encore présenté. Puisque le Traité sur l'espace extra-atmosphérique interdit de revendiquer la souveraineté sur un corps céleste, il est de fait proscrit à un État, quel qu'il soit, d'accorder un titre de propriété sur un quelconque bien matériel extraterrestre. Les États conservent toutefois leur juridiction sur leurs ressortissants. Cela implique que tout État est à même de protéger les opérations commerciales de ses ressortissants de toute entrave venant de tiers de la même nationalité. C'est la stratégie retenue par les États-Unis lors de la rédaction de leur loi de 2015 sur la compétitivité des lancements commerciaux (Commercial Space Launch Competitiveness Act).

Le débat relatif aux droits sur les matériaux extraits de corps célestes est compliqué par les différences d'interprétation de l'interdiction « d'appropriation » du Traité sur l'espace extra-atmosphérique. Certains estiment que cela équivaut à interdire toute notion de propriété sur de quelconques matériaux extraterrestres. D'autres établissent une nette distinction entre l'utilisation des ressources extraites ou collectées sur des corps célestes, comme du régolite ou de l'eau, et la propriété du corps lui-même. Les États-Unis, la Russie et le Japon ont rapporté sur Terre des matériaux issus de corps célestes et en ont revendiqué la propriété absolue et le contrôle intégral. En pratique, l'interdiction ne revêt donc pas un caractère absolu.

Concernant l'avenir immédiat, il semblerait donc que les droits de propriété sur des matériaux extraits de corps célestes seront en grande partie déterminés par les législations nationales. Ces droits dépendront donc exclusivement de la compétence territoriale et personnelle de l'État qui légifère. Par prudence, les plans d'activité conçus avec l'intention d'exporter des matériaux extraterrestres ou des produits dérivés de ceux-ci devront s'assurer que les détenteurs de la souveraineté sur les marchés d'exportation visés autoriseront la vente de tels matériaux et produits. Aucune règle propre aux activités spatiales n'existe en matière de propriété intellectuelle. D'une manière générale, les règles sont les mêmes que pour les activités terrestres.

L'ADMINISTRATION PUBLIQUE ET LA SUPERVISION NATIONALE

Comme expliqué au chapitre précédent, les États sont internationalement responsables des activités spatiales de leurs ressortissants. Ils sont en outre tenus à une responsabilité financière en cas de dommages provoqués par ces activités. Par ailleurs, ils sont chargés de superviser leurs activités spatiales nationales, y compris celles qui sont menées par des acteurs non étatiques. Les États se reposent sur leur législation nationale pour honorer leurs obligations juridiques internationales. Selon la logique et les objectifs de leurs politiques, évoqués plus haut dans ce chapitre, divers dispositifs administratifs permettent aux autorités nationales de superviser à la fois les activités spatiales d'État et les activités non gouvernementales.

Les autorités nationales de tutelle

Le Traité sur l'espace extra-atmosphérique impose à ses signataires d'accorder autorisations et licences pour tout programme spatial et de superviser continuellement les activités nationales afin de garantir leur conformité avec le droit international. Il appartient cependant à chaque État de déterminer les services chargés de cette supervision. Dans certains pays, ces responsabilités sont réparties entre diverses agences.

Aux États-Unis, par exemple, l'agence fédérale de l'aviation (*Federal Aviation Administration, FAA*) est chargée des lancements commerciaux, la Commission fédérale des communications (*Federal Communications Commission, FCC*) des télécommunications et de l'affectation des fréquences, et l'administration nationale des océans et de l'atmosphère (*National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA*) gère la télédétection. Quant au contrôle des exportations, il incombe conjointement au Département d'État et au Département du commerce. L'attribution de la responsabilité d'une activité à un service de l'État déterminé peut contribuer à éliminer aussi bien les lacunes que les doublons du système de supervision.

L'attribution de la responsabilité d'une activité à un service de l'État déterminé peut contribuer à éliminer aussi bien les lacunes que les doublons du système de supervision.

L'octroi de licences

L'octroi de licences constitue la méthode standard pour autoriser et contrôler les activités spatiales nationales non gouvernementales. Chaque acteur doit respecter certaines exigences pour obtenir des licences nationales permettant de se lancer dans des activités spatiales. Un grand nombre de types de licences coexistent : licences de lancement, d'utilisation de fréquences, de télédétection, de radiodiffusion, etc. Les critères d'obtention peuvent être fondés sur les compétences scientifiques et techniques, l'approche environnementale, le respect de normes de sécurité, les assurances souscrites, ou encore la solvabilité financière. Dans la plupart des cas, les activités spatiales du secteur privé exigent une confirmation explicite (en d'autres termes une licence) avant d'être autorisées. Il en va tout autrement pour de nombreux secteurs autres que le spatial, où les activités privées sont souvent autorisées par défaut, seuls certains types d'activités déterminés nécessitant un permis, notamment celles qui présentent des risques ou exposent à des dangers notables.

Une bonne compréhension du régime d'attribution des licences du pays concerné est fondamentale pour s'engager dans des activités spatiales responsables et réussies.

L'immatriculation nationale des objets spatiaux

Conformément au Traité sur l'espace extra-atmosphérique et à la Convention sur l'immatriculation, les États revendiquent la propriété de leurs objets spatiaux en les immatriculant sur leurs registres nationaux. Cette propriété a deux volets : la juridiction et le contrôle. La juridiction correspond au pouvoir de rédiger des lois et de les faire appliquer, et de régler des litiges. Elle appartient à l'État. Le contrôle est un pouvoir opérationnel analogue à la faculté de commander l'objet spatial concerné. L'article VIII du Traité sur l'espace extra-atmosphérique établit ces droits :

L'État partie au Traité sur le registre duquel est inscrit un objet lancé dans l'espace extra-atmosphérique conservera sous sa juridiction et son contrôle ledit objet et tout le personnel dudit objet, alors qu'ils se trouvent dans l'espace extra-atmosphérique ou sur un corps céleste. Les droits de propriété sur les objets lancés dans l'espace extra-atmosphérique, y compris les objets amenés ou construits sur un corps céleste, ainsi que sur leurs éléments constitutifs, demeurent entiers lorsque ces objets ou éléments se trouvent dans l'espace extra-atmosphérique ou sur un corps

céleste, et lorsqu'ils reviennent sur la Terre. Les objets ou éléments constitutifs d'objets trouvés au-delà des limites de l'État partie au Traité sur le registre duquel ils sont inscrits doivent être restitués à cet État partie au Traité, celui-ci étant tenu de fournir, sur demande, des données d'identification avant la restitution.

Si le Traité sur l'espace extra-atmosphérique confère aux États les droits et les moyens d'exercer leur juridiction sur des objets spatiaux et de les contrôler, ils n'y sont nullement tenus. La Convention sur l'immatriculation de 1975, en revanche, oblige les États à constituer des registres nationaux des objets spatiaux. Son article II impose à tout État partie de créer un registre national et d'en informer le Secrétaire général de l'Organisation des Nations Unies.

Les registres nationaux sont généralement issus d'actes juridiques, soit dans le cadre du droit spatial en général, soit dans une loi spécifique à la création d'un tel registre, comme en Argentine, aux Pays-Bas et en Italie. Dans d'autres cas, les registres nationaux peuvent être fondés par décret ou dans le cadre de réglementations rédigées par une agence compétente.

En 2017, 63 États avaient adhéré à la Convention sur l'immatriculation de 1975 et 31 d'entre eux avaient constitué des registres nationaux d'objets spatiaux et informé l'ONU de leur existence. L'Agence spatiale européenne et l'Organisation européenne pour l'exploitation de satellites météorologiques ont également créé des registres. Le tableau 3 recense les registres nationaux des objets spatiaux et les agences d'État responsables de leur tenue. Certains États chargent leur agence spatiale nationale de cette tâche, d'autres leur organe de supervision de l'aviation, même s'ils disposent d'une agence spatiale (cas de l'Allemagne).

Pour les États souhaitant exercer leur juridiction et leur contrôle sur leurs objets spatiaux, la création et la tenue d'un registre national correspondant constituent un moyen sûr d'affirmer et de renforcer leur

Pour les États souhaitant exercer leur juridiction et leur contrôle sur leurs objets spatiaux, la création et la tenue d'un registre national correspondant constituent un moyen sûr d'affirmer et de renforcer leur autorité juridique

National Registries of Space Objects			
State	OST	REG	Agency Maintaining the National Registry
Argentina	✓	✓	National Commission on Space Activities of Argentina (CONAE)
Australia	✓	✓	Space Licensing and Safety Office of the Government of Australia
Austria	✓	✓	Ministry of Transport, Innovation and Technology
Belarus	✓	✓	National Academy of Sciences (NASB)
Belgium	✓	✓	Belgian Science Policy Office (BELSPO)
Brazil	✓	✓	Brazilian Space Agency (AEB)
Canada	✓	✓	Canadian Space Agency (CSA)
Chile	✓	✓	Ministry of Foreign Affairs—Directorate for International and Human Security
China	✓	✓	China National Space Administration (CNSA)
Czech Republic	✓	✓	Czech Ministry of Transport
France	✓	✓	National Center for Space Studies (CNES)
Germany	✓	✓	Federal Aviation Office (LBA)
Greece	✓	✓	Ministry for Foreign Affairs of Greece
India	✓	✓	Department of Telecommunications—Wireless and Planning Coordination Wing
Italy	✓	✓	Italian Space Agency (ASI)
Japan	✓	✓	Ministry of Education, Sports, Culture, Science and Technology (MEXT)
Kazakhstan	✓	✓	Ministry for Investment and Development—Aerospace Committee (KazCosmos)
Mexico	✓	✓	Mexican Space Agency—General Coordination Office for Space-Related Security and International Affairs
Netherlands	✓	✓	Ministry of Economic Affairs Telecommunications Agency
North Korea	✓	✓	National Aerospace Development Administration
Norway	✓	✓	Norwegian Space Center (NSC)
Pakistan	✓	✓	Pakistan Space and Upper Atmosphere Research Commission (SUPARCO)
Peru	✓	✓	National Aerospace Research and Development Center (CONIDA)
Russia	✓	✓	State Space Corporation (Roscosmos)
Slovakia	✓	✓	Department of Higher Education, Science and Research—Ministry of Education, Science, Research and Sport
South Africa	✓	✓	Department of Trade and Industry—South Africa Council for Space Affairs
South Korea	✓	✓	Ministry of Science, Information and Communications Technology, and Future Planning (MSIP)
Spain	✓	✓	Ministry of Foreign Affairs—Department of International Economic Relations
Ukraine	✓	✓	National Space Agency of Ukraine (NSAU)
UK	✓	✓	UK Space Agency (UKSA)
USA	✓	✓	Department of State—Bureau of Oceans and International Environmental and Scientific Affairs

Tableau 3 – Les registres nationaux d'immatriculation des objets spatiaux

autorité juridique. Parfois, les pouvoirs publics ont l'obligation d'établir et de tenir un tel registre. Pour les acteurs non étatiques, la vérification préalable et la conformité avec les mesures gouvernementales de supervision impliquent vraisemblablement de déterminer l'État d'immatriculation de leurs objets spatiaux et de transmettre à cette autorité l'ensemble des informations pertinentes sur les engins spatiaux et leurs activités.

Les obligations d'assurance

De nombreux États exigent des entités qui entreprennent des activités spatiales de souscrire à des assurances spécifiques. Il s'agit de vérifier que ces acteurs sont en mesure d'indemniser l'État en cas de dommages, en vertu de la responsabilité financière internationale, ou de s'acquitter de leurs obligations en cas de sinistres nuisant à d'autres ressortissants du même pays. Les frais d'assurance constituent généralement le troisième poste de dépenses le plus important pour les activités satellitaires, après les frais de recherche-développement et le coût du lancement. Cet élément mérite donc une attention minutieuse avant d'engager des affaires spatiales. À titre d'exemple, l'Australie, le Brésil, les États-Unis, la France, le Japon, la République de Corée et le Royaume-Uni exigent tous de souscrire à divers types d'assurances (tableau 4).

Les régimes dérogatoires

Différents types de dérogations peuvent s'appliquer aux activités spatiales. La renonciation mutuelle à recours est un instrument juridique par lequel deux parties s'engagent réciproquement à ne pas tenir leur cocontractant pour responsable en cas de dommages. Le secteur spatial utilise souvent cette clause, qui peut être conclue entre l'opérateur de lancement et l'exploitant du satellite, mais également entre les différents contractants et sous-traitants. La renonciation à recours facilite l'appréhension et le calcul des risques de dommages pour chaque projet.

D'un point de vue juridique, les exploitants peuvent être exemptés de l'obligation de respecter des réglementations ayant évolué après le lancement d'un satellite. Ce type de renonciation est parfois nommée « dérogation » (*variance*). Les exploitants peuvent également demander une dérogation qui les dispense d'obéir à une réglementation qu'ils jugent exagérément coûteuse ou susceptible d'avoir des répercussions sur la sécurité nationale. L'octroi de dérogations peut permettre au législateur de stimuler l'innovation industrielle.

Indemnification Regime of Some Spacefaring States			
Country	Regime	Third-Party Liability Amount	Comments
Australia	Space Activities Act of 1998	A\$750 million or Maximum Probable Loss	Limit up to A\$3 billion for claims by Australian nationals
Brazil	Resolution on Commercial Launching Activities from Brazilian Territory (Res. No. 51 of 26 January 2001); Regulation on Procedures and on Definition of Necessary Requirements for the Request, Evaluation, Issuance, Follow-up and Supervision of Licenses for Carrying out Launching Space Activities on Brazilian Territory (No. 27)	(no fixed amount)	
France	Space Operations Act of 2008 (entered into force 10 December 2010)	€60 Million	
Japan	Law Concerning Japan Aerospace Exploration Agency, Law Number 161 of 13 December 2002	¥20 billion for H-IIA; ¥5 billion for smaller rocket (e.g., Epsilon)	Amount of the insurance depends on the specific launch vehicle
South Korea	Space Liability Act (Republic of Korea) Law n. 8852 of 21 December 2007	KRW200 billion maximum	
United Kingdom	Outer Space Act 1986, as amended 1 October 2015	€60 Million	Operator third-party liability limited to maximum of €60M for cases “involving single satellite missions employing established launchers, satellite platforms and operational profiles”
USA	US Code Chapter 509—Commercial Space Launch Activities	Up to \$500 million based on permission Maximum Probable Loss calculation	Any claims exceeding the insured amounts are payable by the US government on behalf of the licensee, up to the statutory maximum of \$1.5 billion (subject to congressional appropriation)

Tableau 4 – Le régime d'indemnisation de certaines puissances spatiales

L'administration nationale des fréquences et la radiodiffusion

L'Union internationale des télécommunications est chargée d'assigner et de coordonner les fréquences à l'échelle mondiale (voir chapitre UN, « La gestion internationale des fréquences »). Les administrations des États déterminent l'utilisation des fréquences à l'échelle du pays, généralement en octroyant des licences recensées sur des tableaux nationaux d'attribution des fréquences. En Inde, par exemple, le ministère des Communications et des Technologies de l'information gère l'assignation des fréquences du pays. Au Royaume-Uni, c'est l'office des communications (Ofcom) qui attribue les licences d'utilisation des fréquences. Aux États-Unis, la Commission fédérale des communications (FCC) coordonne les usages non fédéraux des fréquences, tandis que la *National Telecommunications and Information Administration* (NTIA) administre l'utilisation du spectre à l'échelon fédéral.

Outre leur travail sur les fréquences, ces administrations peuvent stimuler d'autres pratiques vertueuses. Par exemple, pour recevoir l'autorisation de la FCC d'utiliser une fréquence, les exploitants américains de satellites commerciaux doivent fournir un plan de réduction des débris orbitaux conforme aux orientations reconnues internationalement dans ce domaine. La législation relative à la radiodiffusion ne se limite pas aux services spatiaux. Elle embrasse d'autres secteurs, comme la télévision par câble. Toute entité entreprenant des activités spatiales de radiodiffusion doit impérativement se conformer à la réglementation nationale concernant l'ensemble des opérations de radiodiffusion. Au Canada, par exemple, les sociétés de radiodiffusion sont tenues d'émettre un certain volume de contenus canadiens. Les administrations peuvent également limiter la résolution des instruments imageurs de télédétection ou la puissance des émissions électromagnétiques.

La réglementation du spectre radioélectrique relève de la responsabilité de supervision d'un État. Cette fonction de planification permet d'assigner le spectre en accordant l'utilisation d'une bande de fréquence à un utilisateur déterminé, en fonction des politiques nationales, des caractéristiques techniques du spectre et des accords internationaux. Ce processus d'assignation contribue à une gestion et à une utilisation durable du spectre tout en limitant les brouillages créés par son exploitation. De plus, l'ingénierie du spectre constitue une fonction de régulation créant des normes relatives aux équipements dont les fréquences perturbent le spectre radioélectrique ou sont perturbées par celui-ci. Enfin, la notion de conformité au spectre implique de superviser l'utilisation des radiofréquences pour s'assurer que les utilisateurs respectent les normes techniques et les fréquences attribuées.

L'administration du contrôle des exportations et des transferts de technologie

Les États mettent en œuvre des mesures de contrôle des exportations pour respecter les régimes internationaux de non-prolifération, promouvoir la stabilité régionale et renforcer leur sécurité nationale. Ils doivent décider de la manière d'administrer la législation du contrôle des exportations.

Pour bien maîtriser ses exportations, un État doit établir son pouvoir juridique en vertu de six principes : exhaustivité des contrôles, respect de directives de mise en œuvre, pouvoir de coercition et sanctions, coordination entre agences, coopération internationale et protection de la diffusion par l'administration d'informations commerciales sensibles. Un pays doit ensuite définir des procédures réglementaires claires qui incluent la liste des objets contrôlés. Enfin, le système de contrôle des exportations doit intégrer un dispositif de mise en œuvre qui comprenne des procédures d'octroi de permis d'exportation transparentes, des mécanismes de vérification et des enquêtes sur toute exportation présumée illicite.

Étude de cas: le contrôle des exportations aux États-Unis

Aux États-Unis d'Amérique, trois agences peuvent octroyer des permis d'exportation : les départements du Commerce, d'État et du Trésor. Les exportateurs sont souvent tenus de s'adresser à plusieurs agences et de solliciter plusieurs permis. Ce processus pourrait être simplifié en désignant une seule agence responsable. Cependant, ceci semble compliqué et difficile à mettre en œuvre.

Le Département d'État administre le régime qui est sans doute le plus emblématique : la réglementation ITAR. Il s'agit d'un ensemble de règles établies par les autorités américaines pour contrôler les exportations et les importations d'articles et de services liés à la défense inscrits sur la liste américaine des munitions USML. Les entreprises doivent enregistrer leurs produits auprès du Département d'État, plus précisément de sa direction des contrôles commerciaux de la défense (Directorate of Defense Trade Controls). Elles doivent demander des permis d'exportation et des approbations pour tout matériel figurant sur la liste USML ou toute donnée technique susceptibles

d'être exportés. Ce processus peut s'avérer long et coûteux. Ces complications administratives peuvent également entraver les activités commerciales, notamment pour les plus petites entreprises. Par ailleurs, le non-respect de la réglementation ITAR peut donner lieu à des amendes importantes, à des peines d'emprisonnement, ainsi qu'à d'autres sanctions civiles et pénales.

Les satellites et les technologies connexes posent des difficultés importantes en matière de contrôle des exportations. Au début des années 2000, le Congrès des États-Unis vote une loi plaçant tout satellite et toute technologie spatiale connexe sur la liste USML. L'enjeu est d'empêcher les transferts de technologies susceptibles d'améliorer les missiles balistiques vers la Chine. Le durcissement du contrôle des exportations de technologies satellitaires américaines encourage alors des sociétés étrangères à concevoir des produits dispensés de conformité avec la réglementation ITAR, souvent commercialisés sous l'appellation « ITAR-free ». Très vite, les parts de marché mondiales des constructeurs de satellites américains s'effondrent. Une vive réaction des industriels amène le Congrès à actualiser la loi en 2012. La Maison Blanche se voit confier l'autorité de désigner les technologies à inscrire sur la liste USML et celles qui peuvent être transférées vers la moins contraignante liste de contrôle commerciale (Commercial Control List, CCL) tout en maintenant l'interdiction d'exporter des technologies spatiales vers certains pays. En 2014, au terme de deux années de délibérations publiques et entre agences, le Département du commerce annonce le passage de certains types de satellites et de technologies spatiales vers la liste CCL.

Cependant, ces efforts de réforme du régime de contrôle des exportations relatif aux satellites ne satisfont pas tous ses critiques. Les sociétés doivent à présent déterminer si elles doivent solliciter un permis auprès du Département d'État ou du Département du commerce. Ainsi, le système dans son ensemble est devenu plus complexe. Les satellites

commerciaux dépassant une certaine norme de performance restent en outre inscrits sur la liste USML, à l'instar de tout engin spatial conçu pour des vols habités et pourvu de son propre système de propulsion. Les débats se poursuivent entre l'industrie spatiale américaine et les autorités fédérales à propos de potentielles évolutions et réformes du régime de contrôle des exportations.

L'encombrement de l'espace

Comme les États sont responsables de leurs propres activités spatiales ainsi que de celles de leurs entités non gouvernementales, les politiques et les mesures nationales de lutte contre l'encombrement de l'espace jouent un rôle déterminant pour renforcer la durabilité des activités orbitales. Les efforts en ce sens se répartissent selon trois catégories principales, avec pour chacune une approche différente : limiter la formation de nouveaux débris spatiaux, s'attaquer aux débris déjà en orbite et maîtriser les conséquences négatives de ces objets sur les activités spatiales.

De nombreux États ont des difficultés à appréhender les exceptions potentielles aux Lignes directrices relatives à la réduction des débris spatiaux. Dans le cas de programmes étatiques anciens dont certains éléments ont été conçus et mis en place avant l'adoption de ces orientations, des exemptions portant sur des aspects définis peuvent être nécessaires. Les États peuvent également être tentés d'exempter certains nouveaux programmes lorsque le respect des lignes directrices est susceptible d'augmenter les coûts ou de compliquer l'exécution. Cependant, le recours trop généralisé à des exemptions risque d'entraîner des effets pernicieux sur le respect des lignes directrices et, à terme, de nuire à l'ensemble des acteurs du domaine orbital. Les cas d'exemption doivent obéir à un processus rigoureux et soigneusement défini auquel participent les décideurs de haut rang et qui expose clairement les coûts et les avantages des exemptions.

À la limitation du volume de nouveaux débris s'ajoutent des politiques et des pratiques administratives destinées à minimiser l'incidence des débris orbitaux existants sur les activités spatiales. Les États-Unis, la Russie, la France, l'Allemagne et le Japon figurent parmi les pays qui ont déjà chargé des organisations d'État de surveiller le volume d'objets spatiaux en orbite et d'anticiper toute approche

potentiellement dangereuse. Dans certains cas, ces organisations se consacrent exclusivement aux satellites de leur État, tandis que dans d'autres, elles suivent également les objets non gouvernementaux ou étrangers. Dans tous les cas, des procédures et des mécanismes de partage des données ont été prévus afin d'informer les exploitants de satellites et de les aider à évaluer les risques de collision et à exécuter des manœuvres d'évitement.

Ces pratiques sont souvent partie prenante du plus large débat sur la gestion du trafic spatial, bien qu'il n'existe encore aucune pratique nationale standard pour une gestion exhaustive du trafic dans l'espace. Il appartient actuellement à chaque exploitant de déterminer sa propre tolérance au risque et de se fonder sur cette approche pour déterminer s'il y a lieu de prendre des mesures d'évitement. Les techniques actuelles de prévision des approches et des collisions orbitales ne sont pas assez perfectionnées pour donner lieu à des politiques contraignantes de manœuvre, à l'exception de certaines activités comme les vols habités.

Plusieurs États ont par ailleurs mis en place des politiques et des organisations destinées à fournir des moyens de connaissance de l'environnement spatial. Or, développer des moyens permettant de suivre tous les objets spatiaux en permanence requiert un réseau maillé de stations de poursuite implantées tout autour de la planète. La plupart des pays se focalisent sur des moyens relativement limités installés sur leur propre territoire. Dans la majorité des cas, ce réseau s'appuie soit sur des installations existantes issues du domaine militaire ou de celui du renseignement, soit sur des infrastructures à double usage. Cette coexistence peut s'avérer difficile dans les pays où le personnel de la défense n'entretient pas de relations professionnelles avec les acteurs du secteur spatial civil, ou bien dans ceux qui cherchent à acquérir des moyens de connaissance de l'environnement spatial exclusivement civils.

L'exemple de l'Allemagne montre bien comment résoudre cette problématique. En Allemagne, le secteur spatial relève du ministère fédéral chargé des affaires économiques et de l'énergie, qui a coordonné le processus de création d'une stratégie spatiale nationale. Cette coordination a rassemblé le centre aérospatial allemand (DLR), chargé de l'exécution du programme spatial national, et le ministère fédéral de la Défense, qui exploite plusieurs satellites, qui ont dû travailler ensemble. Pour mettre leur stratégie en œuvre, les pouvoirs publics ont fondé un centre allemand de connaissance de la situation spatiale en 2009. Cette coentreprise réunit le DLR et l'armée de l'air allemande.

Les États sont encouragés à mettre en place des mécanismes nationaux destinés à faire respecter les Lignes directrices relatives à la réduction des débris spatiaux de l'IADC tant par les acteurs étatiques que par les acteurs non gouvernementaux. Leur mise en œuvre dépend de la structure administrative de chaque État. Elle fait généralement appel à des directives politiques au niveau des agences fédérales, à une composante juridique en droit national et à des obligations pour les entités non gouvernementales d'obtenir des licences spécifiques.

Étude de cas : la politique relative aux débris spatiaux aux États-Unis

Aux États-Unis, la politique spatiale nationale impose à toutes les agences fédérales de respecter les Pratiques standard concernant la réduction des débris orbitaux. Ces orientations émanant des autorités américaines reflètent étroitement les lignes directrices du Comité de coordination inter-agences sur les débris spatiaux (IADC). Ces Pratiques standard s'appliquent à l'ensemble des programmes du gouvernement américain, y compris à ceux qui sont menés directement par des agences publiques et à ceux qui sont financés par les pouvoirs publics. Les diverses agences fédérales engagées dans des activités spatiales disposent chacune de leurs propres cadres et orientations politiques décrivant comment exécuter les directives. Certains aspects de la mise en œuvre sont coordonnés par le processus inter-agences, d'autres sont laissés à la discrétion de chaque agence.

Par ailleurs, trois agences fédérales jouissant de compétences réglementaires sur les activités spatiales non gouvernementales font appliquer les Lignes directrices relatives à la réduction des débris spatiaux par le secteur privé. La NOAA, qui relève du Département du commerce, est responsable de l'attribution de licences pour la télédétection terrestre menée depuis l'espace par des entités non gouvernementales. Sous l'autorité du Département des transports, l'Administration fédérale de l'aviation (FAA) octroie les licences de divers éléments commerciaux : lancements et rentrées dans l'atmosphère et véhicules réutilisables, infrastructures de lancement et de rentrée, et enfin vols habités. La Commission fédérale des

communications est chargée d'assigner les licences d'utilisation des radiofréquences pour les activités des satellites non gouvernementaux.

En général, concernant les activités spatiales non gouvernementales, les Lignes directrices relatives à la réduction des débris spatiaux sont appliquées dans le cadre des processus d'attribution des licences menés par chacune de ces trois agences. Cependant, leurs exigences diffèrent. La FCC exige par exemple la fourniture d'un plan de réduction des débris couvrant la période d'exploitation et les opérations de mise au rebut. En revanche, la NOAA ne demande un tel plan que pour la mise au rebut des satellites de télédétection. La FCC impose également le respect de la règle des 25 ans pour la désorbitation de l'ensemble des éléments d'un lancement spatial, à l'inverse de la FAA. Ces différences de règles sont en grande partie dues à la diversité des approches de réduction des risques entre les deux agences qui découlent des particularités de leurs mandats juridiques et politiques. En outre, seule la NOAA dispose à ce jour de compétences réglementaires sur les activités spatiales opérationnelles, les deux autres entités se consacrant à l'attribution de licences ou de certificats uniquement avant le vol.

Les marchés publics

Les administrations nationales font régulièrement appel au secteur privé pour la fourniture de produits ou de services. Les contrats peuvent prendre diverses formes (tableau 5). Ils définissent généralement les biens et services commandés en précisant leurs spécificités techniques et les performances requises, le calendrier d'exécution, les exigences en matière de compte rendu d'exécution et les modalités de paiement. Les contrats sont normalement prévus pour compenser les frais de conception et de réalisation des moyens visés, avec une marge ou une rémunération pour l'exécutant.

Les clauses de règlement des différends

Lors de la formulation d'un contrat, les parties voudront très probablement prévoir des clauses permettant un règlement équitable des différends selon des modalités claires et prédéfinies. Rédigée par la Commission des Nations Unies

Common Contract Types	
Fixed Price	Specific, exact price for services and delivery terms; maximizes incentive for contractor to control costs; reduces government insight into performance; reduces incentives for innovation.
Cost Reimbursement	Costs are variable based on expenses incurred and fee rate; little incentive for contractor to control costs; potential for scope overruns; high degree of government insight into performance.
Time and Materials	Costs are variable based on expenses incurred and fee rate; difficult to manage the amount of work performed; best-suited for highly defined scopes.

Table 5 – Common Contract Types

pour le droit commercial international (CNUDCI), la Loi type de la CNUDCI sur l'arbitrage commercial international définit les conditions, ou éléments, du règlement des différends par arbitrage. Ces principes peuvent être intégrés à tout accord international. La condition principale réside dans l'acceptation des parties de soumettre à arbitrage tous les différends (ou certains d'entre eux) advenus ou susceptibles de se produire dans le cadre d'une relation juridique liant les deux parties, que ces différends soient de nature contractuelle ou non.

Seuls les recours émanant d'une relation juridique définie relèvent de la convention d'arbitrage. Celle-ci se réfère généralement aux recours « découlant du contrat ou lié à celui-ci ». Une telle formulation suffit pour englober l'ensemble des problèmes liés à la conclusion, à la validité, à l'interprétation, à l'exécution, au versement d'indemnités et à la résiliation du contrat. La responsabilité délictuelle peut être engagée si elle est liée d'une quelconque façon à l'exécution des obligations contractuelles des parties.

Enfin, le Règlement facultatif pour l'arbitrage des différends relatifs aux activités liées à l'espace extra-atmosphérique établi par la Cour permanente d'arbitrage (CPA) constitue une autre voie. Comme expliqué au chapitre UN (« L'arbitrage et la médiation »), ce document propose des modèles de formulations de clauses d'arbitrage qui peuvent être utilisés lorsque les parties souhaitent se conformer au Règlement facultatif. Si les parties acceptent de porter tout différend devant la CPA en vertu du Règlement facultatif, on présuppose qu'elles renoncent à tout droit à l'immunité de juridiction auquel elles pourraient prétendre concernant le différend en question. Une juridiction n'est pas tenue de préciser que le différend

concerne l'espace extra-atmosphérique pour que ces règles s'appliquent. Le Règlement facultatif est fondé sur le Règlement d'arbitrage de la CNUDCI (version révisée en 2010), qu'il modifie. Il porte sur les besoins particuliers des parties engagées dans des activités spatiales. Il contient les formulations permettant de trancher adéquatement sur les éléments d'arbitrage, notamment la notification, la représentation, le nombre et les modalités de sélection des arbitres, ainsi que les procédures à suivre.

Le recours à des juridictions nationales

Un différend commercial peut naturellement être porté devant une juridiction nationale, à condition que celle-ci soit compétente à ce sujet. Qu'un État puisse être partie à un différend devant une juridiction nationale constitue une question distincte. Des questions telles que celle de l'immunité souveraine influent sur la compétence éventuelle d'une cour sur un État défini. La question préalable permettant de décider si une affaire est du ressort d'une juridiction nationale est celle de la compétence quant aux parties et quant à l'objet du différend. Lorsque la compétence est établie, la partie demanderesse doit rechercher le cadre le plus favorable pour poursuivre. Les questions comme celle des mécanismes d'exécution ainsi que l'étude de la jurisprudence du tribunal concerné doivent être envisagées avant de choisir une juridiction.

ANALYSE APPROFONDIE : LES POLITIQUES ET L'ADMINISTRATION DE L'OBSERVATION DE LA TERRE

Les satellites d'observation de la Terre effectuent continuellement des mesures de notre planète depuis plus de quarante ans. Ils contribuent ainsi à enrichir une base de données d'une valeur inestimable au service d'applications dans des domaines aussi variés que la santé, la climatologie et l'aménagement urbain. L'observation de la Terre depuis l'espace étant intimement liée au développement socioéconomique, elle s'impose comme un secteur d'activité déterminant autant pour les nouveaux acteurs du spatial que pour les intervenants bien établis. Dans ce cadre, elle constitue un cas éclairant qui révèle les interactions entre les politiques publiques et l'administration. Elle illustre les différentes approches adoptées par les pays pour gérer ces activités. Par ailleurs, de nouvelles tendances d'observation de la Terre, notamment à l'initiative d'acteurs non étatiques, illustrent des transformations politiques plus globales dont l'étude peut s'avérer judicieuse pour les nouveaux acteurs du spatial.

Les politiques relatives à l'observation de la Terre

En harmonie avec les principaux éléments de politique publique décrits en début de chapitre, les politiques concernant l'observation de la Terre visent essentiellement à :

- Cerner les objectifs et les priorités qui orientent l'acquisition de données sur la planète
- Définir les rôles et les responsabilités des pouvoirs publics en matière d'observation de la Terre, ainsi que les obligations de supervision associées
- Fixer les exigences en rédigeant des procédures que les opérateurs privés doivent respecter lors de l'exploitation de systèmes d'observation de la Terre
- Définir des politiques de données régissant les conditions d'accès et de diffusion des données acquises grâce à ces systèmes.

Les politiques d'observation de la Terre peuvent être intégrées aux politiques spatiales nationales ou obéir à des politiques propres. Dans certains cas, un État peut définir des objectifs spécifiques concernant le type d'informations recueillies ou les domaines d'application prioritaires, puis désigner les services ou les agences responsables de l'acquisition de données de recherche ou opérationnelles. Des organismes d'État déterminés peuvent également être chargés d'exploiter des systèmes donnés. Les orientations de la Politique spatiale nationale américaine pour 2010 imposent par exemple au Service géologique des États-Unis (USGS) et à la NASA de coopérer pour la gestion d'un programme opérationnel de télédétection des terres. Cette politique décrit également les tâches relatives à l'acquisition, à l'archivage et à la diffusion des données de télédétection des terres émergées.

Au vu des évolutions technologiques qui permettent la généralisation de ces systèmes et des questions de responsabilité financière en cas de dommages évoquées au chapitre UN, les politiques d'observation de la Terre définissent également les rôles quant à la supervision des moyens non étatiques. Il s'agit de désigner les services ou agences responsables et les tâches à réaliser. Ces orientations peuvent être détaillées dans les règlements, le droit ou les politiques des agences. Aux États-Unis, l'attribution des licences d'exploitation des systèmes privés d'observation de la Terre incombe au département du Commerce. L'exécution de cette tâche a été déléguée à la NOAA. Ses principes sont consignés dans une politique nationale relative à l'observation de la Terre à visée commerciale. Les politiques de la NOAA définissent les principes qui orientent

les activités connexes : une politique porte par exemple sur les partenariats entre les pouvoirs publics, le milieu universitaire et le secteur privé pour la fourniture d'informations et de services sur l'environnement.

Les politiques abordent également les processus de coordination nécessaires à l'orchestration des différents éléments impliqués dans la gestion des activités d'observation de la Terre. Outre les aspects communs à toutes les missions satellitaires (recherche, développement, lancement, exploitation, etc.), l'observation de la Terre fait appel à des tâches spécifiques de traitement, d'archivage et de diffusion des données. Une coordination institutionnelle s'avère indispensable dans le domaine de l'observation de la Terre, en raison de la diversité des utilisateurs et des parties prenantes qui extraient régulièrement des informations de grande valeur des données recueillies. La compréhension des besoins de ces différentes communautés d'utilisateurs nécessite un travail souvent difficile, mais incontournable qui alimente ces efforts de coordination afin d'augmenter la valeur des investissements dans les programmes d'observation de la Terre.

La supervision des activités non étatiques

La rapidité des progrès technologiques stimule souvent l'évolution des politiques d'observation de la Terre, notamment du fait de la généralisation des satellites spécialisés dans l'imagerie haute résolution mis en orbite par des entités non gouvernementales. Ces politiques visent principalement à promouvoir les activités nationales (y compris commerciales) d'observation de la Terre pour la fourniture de services, de données ou d'imagerie, ou encore de produits à valeur ajoutée, sans compromettre les intérêts de sûreté nationale et de politique étrangère. Pour ce faire, la politique doit définir des procédures que les opérateurs non étatiques doivent respecter pour être autorisés à exploiter des systèmes d'observation et fixer les limites de ces activités. L'accès aux données acquises librement ou commercialement par ces systèmes est également sujet à des limites précises imposées par l'autorité de contrôle. La Loi sur les systèmes de télédétection spatiale du Canada de 2005, par exemple, décrit les procédures d'annulation ou de révocation temporaire d'une licence d'exploitation si elle « [porte] [...] atteinte à la sécurité nationale, à la défense du Canada, à la sécurité des Forces canadiennes ou à la conduite des relations internationales du Canada » ou si elle est « incompatible avec les obligations internationales du Canada. » Dans certains pays, la révocation de licence n'est pas pratiquée, mais l'opérateur peut être contraint de cesser temporairement ses activités en cas de crise ou de conflit. On parle alors de « droit de regard ». Il peut également être tenu de s'abstenir

de recueillir ou de diffuser des données sur des zones géographiques estimées « sensibles » par l'autorité compétente.

Les permissions sont souvent accordées grâce à des licences émises après engagement par l'opérateur de respecter certaines procédures d'exploitation et même de mise au rebut, et parfois après une évaluation inter-agences. Par exemple, le site Web des affaires réglementaires de télédétection commerciale de la NOAA (*Commercial Remote Sensing Regulatory Affairs*) indique que les éléments suivants sont nécessaires pour solliciter une licence américaine pour une application commerciale d'observation de la Terre:

- **Informations sur l'entreprise:** coordonnées et autres renseignements sur la société, description des accords notables conclus auprès de nations ou de ressortissants étrangers, etc.
- **Informations sur le lancement:** calendrier de lancement envisagé, date prévue pour le passage à l'état opérationnel, paramètres orbitaux, etc.
- **Informations sur le segment spatial:** résolution prévue et largeur de fauchée des capteurs, capacité de stockage embarquée, durée de vie prévue du système, etc.
- **Informations sur le segment sol:** capacités prévues du système de collecte et de traitement des données, fréquences de transmission, plans de protection des liaisons montantes et descendantes, etc.
- **Autres informations,** notamment renseignements financiers sur les politiques commerciales de diffusion des données prévues, plan de mise au rebut du satellite à l'issue de la mission, etc.

Les politiques de données

Les politiques de données constituent une composante essentielle des politiques d'observation de la Terre. Elles précisent en effet les droits et les obligations en matière d'accès et de diffusion des données recueillies. Les politiques mettent généralement la plupart des données d'observation de la Terre acquises par un État à la disposition du public pour des usages scientifiques, sociaux et économiques. Les données sont ainsi accessibles à tous les utilisateurs des administrations, du milieu universitaire et du secteur privé. La politique de données du système *Copernicus* de l'Union européenne favorise « l'accès, l'utilisation et le partage des informations et des données *Copernicus* sur une base complète, gratuite et ouverte ». Elle se veut précisément orientée vers la promotion du développement économique et de l'innovation technologique. Des programmes bilatéraux et multilatéraux d'échange de données ont également

vocation à faciliter le partage de jeux de données définis entre les opérateurs et les utilisateurs de pays partenaires, ou encore lorsque de tels échanges contribuent à résoudre des problèmes communs. L'Organisation météorologique mondiale, par exemple, facilite l'échange international de données et produits connexes sur la météorologie, y compris issus de systèmes spatiaux. Ces données sont en effet jugées « propres à assurer la sécurité des populations, le bien-être économique et la protection de l'environnement. » Des politiques nationales d'accès libre aux données peuvent également s'appliquer, généralement dans le cadre de politiques globales sur l'accès et l'utilisation des données financées par les pouvoirs publics. Celles-ci ne se limitent pas aux données spatiales et peuvent embrasser des données issues de l'observation aérienne et *in situ*.

Malgré la prolifération des politiques de libre accès aux données, les politiques d'observation de la Terre comportent des formulations restreignant l'accès ou la redistribution des jeux de données pour des considérations de sûreté nationale. Le facteur primordial de ces différents éléments de politique est le caractère intrinsèque de double usage des technologies d'observation, qui ouvrent la voie à des applications civiles et commerciales autant que militaires. Dans certains pays, comme le Chili, un même satellite ou système de télédétection est exploité à la fois pour des utilisations civiles et militaires, ce qui en fait un produit à double usage. Cependant, même si un satellite ou un système est conçu exclusivement à des fins civiles, la technologie conserve son caractère de double usage. En effet, les données recueillies peuvent être assemblées ou réutilisées dans le cadre d'applications servant des objectifs militaires. Par conséquent, pour tenir compte des préoccupations en matière de sécurité nationale liées à un accès libre à des informations potentiellement sensibles, les politiques relatives aux données précisent généralement les restrictions de résolution ou temporelles portant sur la diffusion de données ou d'images haute résolution, y compris celles qui émanent d'exploitants et de fournisseurs commerciaux. L'échange et la redistribution de ces jeux de données peuvent être subordonnés à des exigences supplémentaires et faire l'objet d'évaluations au cas par cas. En Allemagne, les données d'observation de la Terre acquises grâce à des systèmes haut de gamme sont sujettes à la politique nationale sur la sécurité des données des systèmes spatiaux d'observation de la Terre. Leur diffusion est autorisée en fonction du degré de « sensibilité » des données. Par ailleurs, la politique indienne de 2011 en matière de données de télédétection impose des accords spécifiques pour échanger des données d'une résolution inférieure au mètre.

Le contexte politique plus général

Mues en grande partie par le progrès technologique, les politiques relatives aux données — et leur mise en œuvre par des licences et autres mécanismes juridiques — restent un aspect déterminant pour l'évolution des pratiques d'observation de la Terre. Ainsi, on constate actuellement l'émergence de diverses sources de données et de services non gouvernementales. La généralisation des acteurs non étatiques tout au long de la chaîne de valeur de l'observation de la Terre — de la recherche et de l'exploitation au traitement des données et à l'archivage — constitue une tendance marquante qui pose de nouvelles questions politiques et juridiques. Par ailleurs, le paysage de l'observation de la Terre est caractérisé par la prolifération de produits et services géospatiaux. Ceux-ci découlent de l'agrégation d'une grande diversité de jeux de données, qui peuvent provenir de plusieurs fournisseurs et sont souvent recueillis à partir de divers systèmes spatiaux, aériens et in situ. Même en dehors des législations portant exclusivement sur le secteur spatial, les données et services issus de l'espace peuvent dépendre de la réglementation ou du contrôle de plusieurs agences publiques et relever de plusieurs régimes juridiques. Aux États-Unis, par exemple, les débats sur le respect de la vie privée liés aux activités des systèmes de véhicules aériens non habités (UAS) commencent à se généraliser aux petits satellites, bien que ces deux types de véhicules appartiennent à des domaines juridiques bien distincts. Ces questions, ainsi que les dernières évolutions, suggèrent que dans certains pays, de nouvelles règles pourraient émerger qui s'appliqueraient en fonction des utilisations ou du type de données recueillies, et non du type d'instrument d'observation. Dans ce contexte, les nouveaux acteurs doivent garder une vision d'ensemble du contexte politique global. Il est également judicieux de rester attentifs aux pratiques des administrations publiques (et notamment leurs mesures politiques, législatives et juridiques) dans les domaines autres que l'espace, qui peuvent peser sur cette partie déterminante des activités spatiales.



Greg Wyler

Fondateur et
président exécutif
OneWeb

INTRODUCTION

L'orbite terrestre constitue une position privilégiée pour des services d'importance majeure en matière industrielle, scientifique, politique, et bien plus encore. Si l'espace orbital a longtemps été jugé infini, les constellations de satellites mèneront rapidement à la saturation de certaines orbites.

L'utilisation de ces orbites n'est pas en question. Cependant, comme toute autre ressource environnementale, il convient de les protéger pour les générations futures. La conception des engins spatiaux, des constellations et de leur opération doit s'attacher à limiter autant que possible les risques de création de débris pendant et après l'exploitation. Le secteur industriel a tout intérêt à respecter des normes comportementales volontaires contribuant à une conception des constellations sûre et à une gestion saine du trafic orbital. Dans le cas contraire, les agences intergouvernementales devront intervenir pour sécuriser l'espace.

Pour adapter le vieil adage : nous n'héritons pas des orbites terrestres, nous ne faisons que les emprunter aux missions futures!

Les chapitres précédents ont décrit le cadre juridique international dans lequel s'inscrivent les activités nationales, ainsi que la façon dont les États établissent des politiques spatiales, coordonnent leurs agences, et supervisent et régulent leurs activités nationales à travers la législation, l'attribution de licences et le régime d'autorisation.

Ce chapitre se concentre sur le déroulement des activités spatiales. Il traite d'abord des étapes préalables au lancement, puis du lancement lui-même, de la phase orbitale et des enjeux de fin de vie des satellites. Sa perspective est donc plus technique et opérationnelle. Il fournit des conseils pratiques aux nouveaux acteurs — États, start-up ou programmes universitaires — qui s'engagent dans des activités spatiales. Les pratiques présentées ici sont représentatives des approches vertueuses que les acteurs responsables devront adopter pour conjuguer réussite de leurs opérations spatiales et sécurité, coopération et viabilité à long terme des activités spatiales.

AVANT LE LANCEMENT

Les activités spatiales commencent bien avant le lancement d'un satellite. Outre la conception et la construction d'un engin spatial, de nombreuses étapes relatives aux politiques, au droit et à l'administration doivent être anticipées. Les sujets suivants sont étroitement liés à l'aspect opérationnel de toute activité spatiale. Ils doivent être étudiés très en amont du lancement et du début de la mission.

L'attribution des licences

Dans de nombreux cas, un exploitant de satellite ou tout autre nouvel acteur doit obtenir une ou plusieurs licences pour ses activités spatiales. Ces licences concernent les fréquences radioélectriques, la télédétection et l'utilisation de lanceurs. Les autorités nationales sont généralement responsables de gérer cet accès à l'espace en attribuant des licences obligatoires aux exploitants avant tout lancement. Les opérateurs de lancement doivent également obtenir des licences, qui peuvent porter d'une part sur les activités de lancement et d'autre part sur la rentrée dans l'atmosphère.

Les licences obligatoires

Les obligations d'obtenir des licences concernent la plupart des aspects des activités spatiales, y compris les télécommunications et la télédétection, les services de lancement et l'exploitation de stations sol pour les satellites (stations terriennes de satellites). L'attribution de licences constitue pour les États un moyen de s'assurer du respect de leurs engagements juridiques internationaux (voir chapitre UN). Les licences peuvent porter sur divers aspects, comme l'accès au spectre, la supervision pour garantir la sécurité nationale, la conformité avec les exigences d'assurance et de sauvegarde et les recommandations relatives à la réduction des débris spatiaux. Les exploitants des satellites et des lanceurs sont tenus de solliciter et d'obtenir les licences nécessaires auprès des autorités nationales de réglementation du pays du siège de leur société ou de celui où ils conduisent leurs activités. Les autorités chargées d'accorder les licences dépendent du pays et du domaine d'activité. Il peut s'agir d'agences spatiales nationales, d'agences nationales de télécommunication ou encore d'agences nationales pour l'économie et le commerce.

Les licences d'utilisation de fréquences

Dans le secteur des télécommunications par satellite, l'un des premiers objectifs des licences consiste à coordonner l'attribution des fréquences du spectre radioélectrique à l'échelle nationale et internationale. Les entités souhaitant mettre en œuvre un système de télécommunication par satellite doivent obtenir une licence d'exploitation. Le spectre radioélectrique étant une ressource naturelle limitée, le processus d'attribution de licences permet de garantir un accès équitable aux fréquences tout en offrant un mécanisme destiné à limiter le risque de brouillage entre systèmes satellitaires et entre les usages satellitaires et terrestres de fréquences proches ou identiques.

Comme indiqué au chapitre DEUX (« L'administration publique et la supervision nationale »), les législateurs ont généralement prévu un régime d'autorisation garantissant la coordination des parties et le respect des politiques et règlements de l'Union internationale des télécommunications. Dans de nombreuses juridictions, les autorités responsables d'attribuer les licences d'exploitation de satellites de télécommunication sont les mêmes que celles qui sont chargées de la conformité de leur pays aux règles de l'UIT. Ce n'est pourtant pas toujours le cas. Au Royaume-Uni, par exemple, l'office des communications (Ofcom) est chargé de l'enregistrement auprès de l'UIT, mais les licences sont accordées par l'Agence spatiale du Royaume-Uni.

En règle générale, tout opérateur cherchant à exploiter un système satellitaire amené à recevoir ou à transmettre des données (y compris les liaisons de commande et de contrôle) utilisant le spectre des fréquences doit obtenir une licence spécifique de la part de l'agence de régulation compétente. Les opérateurs potentiels doivent fournir une série de renseignements techniques et commerciaux aux autorités de régulation lors de la demande de licence. Ces demandes doivent généralement présenter les données techniques décrivant le système, ainsi que les bandes spectrales qui seront utilisées, avec le calendrier d'exécution prévu et des informations concernant les capacités financières à construire, lancer et exploiter le système. La demande de licence peut également exiger des renseignements détaillés sur les étapes à respecter pour réduire le risque de brouillage grâce à la coordination avec les autres opérateurs, de même qu'un plan prévoyant la fin de service d'un engin tenant dûment compte des Lignes directrices relatives à la réduction des débris spatiaux.

Certaines autorités exigent également l'obtention de licences d'exploitation des stations sol utilisées pour communiquer avec les satellites, y compris concernant les équipements terminaux des utilisateurs (communément appelées « stations terriennes »). Les licences des stations terriennes ont vocation à réduire le risque de brouillage, notamment avec d'autres applications de télécommunication terrestres. Elles peuvent également prévoir des dispositions d'évaluation des brouillages avec d'autres applications, comme l'aviation. Les demandes de licences pour les stations terriennes exigent généralement les mêmes informations techniques et commerciales que celles qui concernent les réseaux satellitaires. Quant aux terminaux destinés aux utilisateurs finaux, l'autorité de régulation peut accorder des licences globales portant sur l'ensemble des équipements techniques similaires.

Les licences d'observation de la Terre

Conformément au régime international présenté au chapitre UN et dans l'analyse approfondie de l'observation de la Terre qui clôt le chapitre DEUX, les autorités nationales peuvent également exiger des opérateurs de satellites d'observation de la Terre à visée commerciale qu'ils sollicitent une licence pour les systèmes d'imagerie embarqués à bord de leur satellite. Ces licences peuvent être émises par des services différents de ceux qui s'occupent des systèmes de télécommunication. Les licences d'observation de la Terre sont généralement destinées à assurer la coordination avec les politiques de sécurité nationale. Les renseignements à fournir peuvent porter sur les spécifications techniques des systèmes, les dates de fonctionnement prévues, les paramètres du lancement, l'acquisition des données,

l'accès à celles-ci et les plans de diffusion, la politique tarifaire appliquée à ces données, les accords envisagés avec des entités étrangères et enfin le plan prévu pour la fin de vie des équipements. Les licences d'observation de la Terre peuvent imposer des conditions particulières à l'exploitant, comme des restrictions de résolution et la limitation de la prise d'images du territoire national.

Les licences de lancement et de rentrée

Les fournisseurs de services de lancement doivent généralement obtenir une licence de lancement auprès d'une autorité nationale, qui peut différer de celle qui est responsable des autres autorisations. Les licences de lancement peuvent porter spécifiquement sur les opérations de lancement ou de rentrée. Les exigences peuvent dépendre de la nature expérimentale ou opérationnelle du véhicule, et de sa conception à usage unique ou réutilisable.

Ces licences permettent à l'exploitant d'effectuer une ou plusieurs opérations de lancement ou de rentrée correspondant à des paramètres opérationnels définis, qui sont codifiés et autorisés par la licence. Ces paramètres peuvent notamment englober les éléments suivants : noms des missions, fenêtres de tir et trajectoires prévues, paramètres de la charge utile prévue et orbites visées, plans de sauvegarde au sol et en vol, plans d'enquête sur les accidents, et enfin fenêtre et trajectoire de rentrée, le cas échéant. Les exploitants sont généralement tenus de produire également des informations démontrant que les opérations de lancement prévues respectent les politiques environnementales, les réglementations sur le contrôle des exportations, les autres exigences en matière de licences (par exemple, fréquences et télédétection), et les obligations relatives à l'assurance et à la responsabilité financière.

Pour solliciter la licence nécessaire, l'opérateur de lancement peut demander les informations pertinentes aux exploitants des satellites concernés. Le processus d'obtention d'une licence comporte de multiples étapes et divers dossiers à déposer auprès des autorités réglementaires. Celles-ci proposent souvent des services de consultation préalable afin que les opérateurs soient bien informés des étapes à suivre et des renseignements requis avant d'entamer les démarches.

Les licences de lancement et de rentrée ont de nombreux objectifs. Elles ont un rôle de sécurité publique, en protégeant notamment la sauvegarde des tiers au sol et en permettant la coordination avec la gestion de la circulation aérienne. Le processus d'attribution de licences donne aux autorités nationales la possibilité d'examiner chaque lancement prévu en regard de considérations de sûreté

nationale et d'autres réglementations et exigences du pays. Il contribue également à garantir la collecte des informations nécessaires pour satisfaire aux exigences internationales d'immatriculation.

Le processus d'autorisation : l'obtention d'une licence

Le processus d'autorisation impose des obligations aux agences gouvernementales qui accordent les licences et aux opérateurs qui en deviennent titulaires. Il fait généralement appel à un mécanisme de coordination des agences au cours duquel l'autorité d'attribution des licences consulte les autres agences gouvernementales susceptibles d'être concernées par l'opération envisagée ou celles qui en sont responsables. Cela limite le poids administratif pour l'opérateur en réduisant le nombre de consultations à effectuer. Les autorités d'attribution de licences peuvent également être obligées de mener des vérifications sur les aspects techniques et financiers des demandes reçues. Cela contribue à limiter le nombre de demandes fantaisistes et à empêcher l'attribution de ressources (comme des fréquences) à des utilisateurs qui seraient incapables d'en faire usage. Les opérateurs doivent être prêts à répondre à des demandes de vérification au cours du processus d'approbation.

Lors de la demande de licence, les opérateurs doivent être conscients des éventuels frais administratifs et des délais de traitement de leur dossier. Les frais ont pour but de compenser le coût de traitement de la demande par l'autorité compétente. Les délais de traitement sont variables. Ils peuvent être relativement importants en fonction de l'efficacité de l'administration et du degré de coordination entre agences requis. Pour les demandes exigeant une totale coordination avec l'UIT et un traitement auprès de cette organisation, le délai peut se compter en années. Les plans de mise en œuvre du système doivent impérativement anticiper ces étapes.

La demande de licence, le traitement et les exigences peuvent dépendre du domaine d'application ou du type de système. Les systèmes exploités en orbite géostationnaire peuvent être subordonnés à un processus particulier. Pour les télécommunications, les services fixes par satellite (SFS), les services mobiles par satellite (MSS) et les services de radiodiffusion par satellite (SRS) peuvent obéir à des processus différents. Certaines réglementations peuvent proposer des procédures d'obtention de licences moins coûteuses pour les satellites amateurs. Certaines autorités chargées des lancements font la distinction entre les systèmes expérimentaux et les systèmes opérationnels. Il appartient à l'opérateur de vérifier les catégories qui s'appliquent à son système, bien que les autorités nationales proposent parfois des consultations à ce sujet. Au cours du processus de demande,

les candidats doivent également savoir que certaines autorités rendent toutes les demandes publiques (totalement ou partiellement). Ils peuvent également autoriser les commentaires publics sur les demandes. Cela peut avoir des répercussions sur la stratégie commerciale du demandeur.

Une fois la licence obtenue, l'opérateur est tenu de produire divers rapports au fil du temps. Les licences ont généralement une durée de validité limitée au terme de laquelle une demande de renouvellement peut être formulée. En principe, les exploitants de satellites doivent signaler à l'autorité compétente toute évolution majeure de l'utilisation ou du fonctionnement de leurs systèmes, notamment les défaillances techniques. Ils peuvent également être tenus de fournir des rapports annuels sur l'exécution de leurs missions. Ces rapports contribuent à l'obligation pour l'autorité compétente d'assurer une supervision constante des activités des titulaires de licences.

Le choix du lanceur

Les opérateurs de satellites, et particulièrement les nouveaux entrants, font généralement appel à des consultants techniques qui les conseillent sur le choix d'un lanceur. Ces conseillers jouissent généralement d'une longue expérience dans l'industrie et maîtrisent parfaitement l'ensemble des enjeux d'un lancement. Avec l'exploitant du satellite, ils demandent des évaluations techniques aux opérateurs de lancement afin de déterminer si un lanceur est capable de mener à bien la mission en question. Des propositions de lancements sont demandées à un groupe de fournisseurs qualifiés. Ces propositions sont ensuite évaluées par l'exploitant du satellite et par les consultants techniques.

Dans la plupart des cas, l'assurance du lancement est requise pour que l'exploitant du satellite puisse remplir ses obligations financières et obtenir les licences nécessaires. Un courtier d'assurances épaula alors généralement l'exploitant du satellite et les fournisseurs de lancement pour déterminer les tarifs appropriés. Lorsque cela est possible, il est préférable qu'un exploitant de satellite travaille en étroite coopération avec son fournisseur de lancement. La présence d'un représentant indépendant participant aux travaux du fournisseur sur le site est judicieuse. Les questions d'assurance sont traitées plus en détail dans la suite du chapitre. Le choix d'un lanceur doit garantir des performances adaptées avec des marges suffisantes permettant de faire face à un éventuel accroissement, même modeste, de la masse du satellite. Les fournisseurs de lancements n'autorisent pas le dépassement de leurs limites, parce que cela pourrait induire une défaillance catastrophique ou l'échec du placement sur l'orbite prévue.

Les charges utiles en attente de lancement sont souvent nombreuses. Tout lancement est une entreprise complexe exigeant de coordonner de nombreuses tâches délicates qui peuvent être perturbées par une grande diversité de facteurs difficiles à maîtriser. Le lanceur et les satellites sont souvent composés d'éléments fabriqués par des dizaines, voire des centaines de fournisseurs. Chaque composant doit être testé pour s'assurer de son fonctionnement nominal avant et pendant l'intégration du satellite sur le lanceur. Toute anomalie découverte au cours des essais exige généralement de démonter le composant défaillant pour le soumettre à des essais complémentaires. Par ailleurs, tout échec en vol d'un satellite ou d'un lanceur risque d'entraîner des retards de production de nouveaux engins qui partageraient les mêmes types de composants. Il convient en effet de déterminer la cause de la défaillance des composants concernés et de la résoudre avant de valider leur utilisation. Même si un engin et son lanceur sont prêts à temps, le lancement d'autres charges utiles prioritaires ayant subi des retards peut différer le décollage. Enfin, sur le pas de tir, des perturbations météorologiques et autres problèmes liés au site peuvent encore retarder le lancement. Dans les faits, de nombreux lancements ne se déroulent pas à la date initialement prévue en raison de la conjonction de ces multiples facteurs.

Un nouvel exploitant de satellite doit donc être suffisamment solide financièrement pour surmonter un retard de lancement substantiel, avec des frais de stockage du satellite élevés et une perte de recettes d'exploitation en perspective.

L'intégration de plusieurs charges utiles

Plusieurs charges utiles peuvent être intégrées à un même lanceur selon diverses méthodes. L'un des processus les plus éprouvés consiste à placer les satellites dans un adaptateur de charges utiles. Le lanceur lourd russe Proton peut embarquer deux satellites. Celui qui est placé en bas supporte la masse du satellite supérieur grâce à un adaptateur spécial. En Europe, le lanceur Ariane 5 peut être équipé

Un nouvel exploitant de satellite doit donc être suffisamment solide financièrement pour surmonter un retard de lancement substantiel, avec des frais de stockage du satellite élevés et une perte de recettes d'exploitation en perspective.

d'une structure rigide comparable à une table destinée à recevoir la masse du satellite supérieur, pour éviter qu'elle ne porte sur le satellite inférieur.

Certains satellites sont conçus pour être lancés par grappes avec une parfaite efficacité. Le fabricant franco-italien Thales Alenia Space conçoit des plateformes (semblables à celles de la constellation Iridium) qui peuvent être groupées efficacement afin d'optimiser les coûts du lancement. Les conceptions prévoyant le lancement en grappe sont particulièrement courantes dans le cas de grandes constellations de petits satellites. Plusieurs d'entre eux peuvent alors être placés simultanément sur le même plan orbital. Par exemple, la constellation de satellites de communication Iridium en orbite terrestre basse a été conçue pour placer 66 satellites opérationnels sur 11 plans orbitaux. Les satellites d'Iridium ont pour la plupart été lancés par groupes sur des lanceurs américains, russes et chinois.

Pour d'autres missions, il est plus efficace de placer une charge utile sur le satellite d'un autre opérateur. Cette technique de la « charge utile hébergée » permet de faire l'économie de la construction et du lancement d'un satellite spécifique. Dans cette configuration, le propriétaire de la charge utile paye l'opérateur du véhicule hôte pour transporter un instrument, qui exploite les services du satellite principal, comme son alimentation énergétique, son système de transfert de données, etc. Enfin, le concept de « plateforme hébergée » émerge avec l'arrivée imminente de grandes constellations de satellites de communication. Dans ce cas, un exploitant de satellite achète un véhicule issu de la même plateforme que les autres satellites de la constellation. Les dépenses d'ingénierie non récurrente de la plateforme du satellite étant imputées à l'exploitant de la constellation, le satellite dérivé de la plateforme hébergée est nettement plus économique à construire. L'exploitant de la plateforme hébergée peut en outre utiliser le réseau de télécommunication et les infrastructures sol de la constellation. Parfois, il peut également partager un lancement pour un coût modique.

Plus récemment, le concept de lancement de plusieurs charges utiles appartenant à divers opérateurs sur un même vol s'est généralisé. Un lancement partagé correspond essentiellement à l'utilisation du même lanceur par plusieurs satellites. De nombreux exploitants de satellites, notamment dans le domaine des petits satellites ou des CubeSats, peuvent avoir intérêt à positionner leur engin comme charge utile secondaire au lieu de se porter acquéreurs principaux d'un lanceur. Ainsi, le client tire parti du volume de charge utile inutilisé et de la masse disponible et partage un lancement acheté par un autre exploitant. Les entités souhaitant partager un lancement peuvent se rapprocher des opérateurs de

lancement ou des exploitants de satellites. Elles peuvent également faire appel à une société de courtage de services de lancement, dont le rôle est d'associer les charges utiles aux possibilités de lancement. Certains courtiers peuvent même acheter un lancement et rassembler ensuite diverses charges utiles.

Les dispositions de partage de lanceurs s'avèrent généralement plus économiques que l'achat d'un lancement propre, dont le prix peut être dissuasif pour de nombreux nouveaux acteurs. Cette approche n'est pourtant pas dénuée d'inconvénients. Les responsables des charges utiles secondaires ont généralement peu de latitude pour influencer le calendrier d'un lancement, généralement négocié entre l'opérateur de lancement et l'exploitant de la charge utile principale. Par ailleurs, les possibilités d'injection orbitales peuvent être plus limitées pour les charges utiles secondaires. De même, l'environnement vibratoire et l'ambiance acoustique au décollage peuvent être moins favorables, puisque ces paramètres sont définis en fonction du cahier des charges de la charge utile principale. Tout vol partagé augmente la complexité du lancement et de la mise en orbite, ce qui accroît le risque d'échec. Un certain nombre de risques associés au partage du vol doivent être envisagés avant le lancement, notamment l'explosion, les problèmes de compatibilité électromagnétique, les décharges électriques, la rupture de batterie, la fuite d'électrolytes, les risques engendrés par les angles vifs ou les saillies de pièces, et le fonctionnement prématuré d'un mécanisme.

Les contrats de services de lancement

Tout lancement négocié auprès d'un opérateur exige la conclusion préalable d'un contrat appelé contrat de services de lancement. Ce document définit méthodiquement tous les détails du lancement et expose les définitions de nombreux aspects du vol. Il cerne les fonctions et les responsabilités de chacun des intervenants. En général, le client fournit un satellite prêt à lancer et l'opérateur de lancement se charge d'effectuer des services définis, comme l'intégration du satellite sur le lanceur, puis le lancement et l'insertion sur la bonne orbite dans des conditions optimales.

Chaque contrat de services de lancement fait état d'éléments singuliers propres au lancement. Cependant, comme pour la plupart des contrats, il comporte toujours certaines formulations déterminées qui lui confèrent un pouvoir contraignant suffisant. Si ces contrats peuvent sembler longs, extrêmement pointilleux et aborder des scénarios improbables (comme les échecs et autres défaillances), il s'agit néanmoins de documents nuancés qui définissent subtilement chacune des multiples interprétations et attentes partagées par les parties grâce à une

terminologie limitée qui anticipe chaque détail, délimite chaque fonction, attribue les risques de telle sorte que ces éléments seraient opposables auprès d'un tribunal. Un contrat est un état écrit de la compréhension commune des parties sur les activités qu'elles entreprennent conjointement.

Le contrat doit donc définir clairement les termes incontournables afin que l'opérateur de lancement et son client s'entendent parfaitement sur l'interprétation exacte de chaque mot. La partie du contrat réservée aux définitions peut traiter les termes suivants : « satellite », « services de lancement », « créneau de lancement », « lanceur », « fenêtre de lancement », « lancement », « services après lancement », « lancement partagé », « tiers », « charge utile auxiliaire », « lancement avorté », « échec du lancement », « défaillance partielle » et autres termes significatifs. La définition précise de ces termes engage chaque partie à les comprendre et à les accepter dans cette interprétation à la conclusion du contrat.

Les implications doivent être claires. Un « échec du lancement », par exemple, peut être défini différemment d'une « défaillance partielle du lancement ». Dans l'éventualité d'un problème empêchant le satellite d'atteindre l'orbite visée, la situation pourrait être qualifiée d'échec du lancement, ou bien, dans certains cas, seulement de défaillance partielle. Cette interprétation pourrait avoir un impact direct sur l'application des garanties d'assurance et même sur les dispositions en matière de responsabilité financière. Les définitions du contrat de lancement comptent énormément. Elles doivent faire l'objet d'un examen minutieux par les parties.

L'accord réserve généralement des sections au recensement des actes qui doivent être menés par chacune des parties. Parfois désignées sous le terme d'engagements, ou d'engagements techniques, ces parties du contrat énumèrent précisément les obligations incombant à chaque intervenant, celles de l'un influant sur les actions de l'autre. Le lancement d'équipements de pointe dans l'espace constitue une telle prouesse technologique que les parties doivent inévitablement être liées par un étroit partenariat pendant une durée déterminée.

Enfin, les parties d'un accord de lancement ne peuvent éluder la possibilité d'une catastrophe. Elles doivent donc envisager le pire et négocier les conditions de répartition des risques, les droits accordés en fonction des événements potentiels et le rôle de chaque partie, et les faire figurer dans l'accord. Une section de ce dernier doit donc être consacrée à l'attribution des responsabilités potentielles et des risques.

Indépendamment du secteur spatial, les contrats types proposent souvent une clause dite de « force majeure ». Cela signifie que tout « cas fortuit » qui interviendrait ou surviendrait d'une quelconque façon imprévisible dégagerait les parties de leurs obligations contractuelles.

L'assurance

Une assurance peut être exigée par l'autorité nationale qui attribue les licences et supervise les activités spatiales. Elle peut également être requise par l'opérateur de lancement qui l'indique dans le contrat de services de lancement. Un client peut souscrire une assurance pour limiter les risques découlant d'une éventuelle défaillance du lancement. Les primes d'assurance sont souvent plus élevées pour les lanceurs n'affichant pas un historique de grande fiabilité. Le coût d'une assurance peut donc contrebalancer la différence de prix entre les lanceurs plus abordables, mais présentant un risque supérieur, et les lanceurs plus coûteux à la fiabilité éprouvée. L'assurance la plus couramment souscrite porte sur le lancement. Elle couvre toutes les étapes entre l'allumage du lanceur et le placement sur orbite. Une police distincte peut être souscrite pour couvrir les éventuelles défaillances du satellite au cours de sa phase orbitale opérationnelle. Tout acheteur de services de lancement doit également être conscient des questions de responsabilités de l'État où est établi l'opérateur de lancement. En cas de défaillance portant préjudice à des tiers indépendants des activités spatiales concernées, la responsabilité financière du client peut être engagée. Certains États ont formulé des régimes d'indemnisation qui définissent un plafond de responsabilité au tiers, tout dommage dépassant ce montant étant pris en charge par l'État.

Les essais de la charge utile préalables au lancement

Le lancement d'un satellite l'expose à des vibrations, des forces acoustiques, des chocs, des couplages de charges et des effets thermiques et électromagnétiques non négligeables. Les concepteurs et les ingénieurs travaillant sur un satellite doivent étudier le manuel utilisateur de chaque lanceur pour obtenir des renseignements sur les conditions physiques du lancement. Tout véhicule doit ensuite subir des essais pour s'assurer qu'il supportera ces contraintes. Ces risques peuvent également concerner les premières phases des activités orbitales du satellite, notamment lorsqu'il doit manœuvrer durant des semaines pour atteindre l'orbite visée. Au cours de la conception, du développement et des phases d'essai, différentes mesures permettent de préparer un engin pour une mise en œuvre optimale.

À l'étape de la conception, il peut être judicieux de sélectionner une plateforme (le corps du satellite) longuement éprouvée. Les conceptions les plus courantes s'appuient sur l'exploitation de grands nombres de données sur la façon dont la structure et les composants d'un engin se comportent dans les conditions d'un lancement. Par ailleurs, le recours à une combinaison satellite-lanceur fiable et éprouvée contribue encore à réduire le risque d'échec lors de la mise en œuvre de la charge utile.

Un véhicule doit être conçu pour résister aux vibrations et aux effets acoustiques générés par les moteurs du lanceur. Tout véhicule sera exposé à au moins trois types d'environnements vibratoires et acoustiques au lancement, notamment les vibrations aléatoires, les vibrations sinusoïdales et les vibrations induites par des phénomènes acoustiques. Les effets vibro-acoustiques les plus prononcés se produisent au cours des premières minutes d'un vol, lorsque la surpression et la réverbération sonore sont les plus fortes. Des bruits d'écoulement se produisent ensuite à cause du flux d'air sur la coiffe du lanceur, qui entraîne des réverbérations sonores à l'intérieur. Ce phénomène est particulièrement marqué durant les phases de vol à haute pression dynamique, comme le franchissement du mur du son. Des informations sur l'environnement vibro-acoustique d'un lanceur sont fournies dans son manuel utilisateur.

La plupart des régimes d'essai au sol simplifient les conditions de lancement et procèdent à des essais dans les conditions les plus rudes, indépendamment du profil de la mission. Si la conception d'un engin révèle une grande sensibilité aux vibrations, des protocoles d'essai spécifiques doivent être élaborés. Les effets des vibrations peuvent être atténués pendant la conception et la construction en ajoutant des commandes de mouvement contribuant à modérer les vibrations sinusoïdales et aléatoires issues du lanceur.

Un engin spatial subit des accélérations transitoires intenses couvrant de larges fréquences pendant des périodes très brèves, généralement moins de 20 millisecondes. Ces chocs ont lieu au cours de manœuvres précises, comme la séparation d'un étage au moyen d'un dispositif pyrotechnique, et peuvent être simplement modélisés et testés au sol. Les effets des chocs peuvent être atténués en utilisant des mécanismes de séparation non pyrotechniques.

Outre les phénomènes vibro-acoustiques et les chocs générés par un lanceur, il est nécessaire de comprendre les notions de couplage de charges qui découlent de l'interaction entre un lanceur et un autre engin spatial formant un ensemble

structurel solide. Plusieurs méthodes permettent de modéliser le couplage de charges, mais leur qualité et leur fiabilité dépendent fortement du modèle dynamique structurel du véhicule et des données enregistrées pendant les vols. Au cours de la conception du véhicule et du processus de sélection du lanceur, il peut être judicieux d'actualiser un modèle de couplage de charges selon un processus itératif à mesure de l'évolution de la conception et du recueil de données supplémentaires sur les forces qui s'exercent au lancement.

Pendant la phase de lancement et de rehaussement d'orbite, l'environnement thermique doit respecter les tolérances pour lesquelles les composants électroniques et les mécanismes de déploiement ont été conçus et qualifiés. Différentes méthodes peuvent être utilisées pour cela. Sur l'aire de lancement, la coiffe du lanceur est climatisée ou chauffée pour maîtriser les variations de température. Une fois la coiffe séparée, le lanceur tourne sur lui-même pour exposer le satellite au soleil, afin de maintenir la température à l'intérieur du satellite dans la plage acceptable pour les composants électroniques et pour chauffer les mécanismes de déploiement.

Pendant la phase de lancement, le véhicule sera exposé à différents environnements électromagnétiques, dus notamment à l'énergie des radars de poursuite, aux effets des émetteurs radio du lanceur, à des protons de haute énergie dans certaines régions traversées et à la foudre dans l'atmosphère. La phase d'ingénierie doit donc prévoir le strict respect des spécifications électromagnétiques et exploiter la modélisation d'éventuels brouillages électriques. Au niveau système, la compatibilité entre un engin spatial et son lanceur est assurée grâce à des essais de l'avionique intégrée en cours de fabrication, en apportant une attention particulière aux contraintes de fixation et d'isolation d'un lanceur. Les essais complets d'intégration des systèmes sont effectués sur le site de lancement.

Le rapport entre essais et élimination des anomalies

La conception, la fabrication et les essais d'un véhicule spatial revêtent une importance considérable en matière de prévention des anomalies susceptibles de se produire en orbite. Pour toutes les missions à l'exception des vols habités, ces phases offrent la seule possibilité pratique d'intervenir sur le système et d'y consacrer des efforts de reconfiguration. La liste suivante énumère des pratiques vertueuses à envisager lors de l'élaboration d'un processus, de la phase préalable à l'exploitation aux phases d'exploitation afin de réduire les probabilités de certaines anomalies orbitales et de maîtriser leurs effets.:

- ☑ Analyse des types de défaillance et de leurs effets (FMEA) à diverses étapes de la conception et élimination des points de pannes uniques à chaque fois que possible.
- ☑ Exploitation des résultats de l'analyse FMEA pour rédiger des procédures opérationnelles solidement étayées et très détaillées. Application de ces procédures au cours de la phase d'intégration et d'essais afin de caractériser le comportement du système en laissant la possibilité de l'actualiser avant le lancement.
- ☑ Catalogage et enregistrement de l'ensemble de la documentation et des données d'essai, y compris concernant le matériel acquis auprès de fournisseurs. Ces renseignements peuvent être déterminants pour déceler la cause racine d'une défaillance en orbite.
- ☑ Conception d'un simulateur de vol ou d'un modèle d'ingénierie du système. Un simulateur perfectionné constitue un outil irremplaçable pour tester les procédures opérationnelles complexes, valider les mises à jour des microprogrammes et des logiciels, et effectuer des recherches détaillées des causes de défaillance.
- ☑ Vérification que la conception de l'engin spatial fournit suffisamment de données pour diagnostiquer les anomalies. Prévision d'assez de points d'accès de télémétrie offrant une visibilité sur chaque unité embarquée. Développement de formats de télémétrie détaillés et bien organisés.

De telles pratiques aideront les opérateurs de satellites à bien appréhender les risques inhérents au profil de leur mission (exigences en matière d'environnement spatial et d'exploitation) et à améliorer leur conception pour limiter ces risques.

L'assurance-qualité de la mission de lancement

Les opérations de lancement plaçant des satellites en orbite reposent sur un partenariat entre l'opérateur de lancement et son client, qui s'engagent à développer un processus et une culture contribuant à la réussite de la mission. Ce type de relations et de processus, appelé assurance-qualité de la mission, est une norme qui peut être difficile à appliquer pour les budgets commerciaux les plus serrés, mais peut être respectée par les acheteurs de grande échelle, comme les États. En tant que processus, l'assurance-qualité de la mission est une activité technique et de gestion qui doit être appliquée de façon itérative et continue tout au long du cycle de vie d'un lanceur. Pour atteindre ses objectifs, le processus d'assurance-qualité de la mission doit s'appuyer sur l'exécution rigoureuse des principes de conception technique des systèmes, de gestion des risques, d'assurance qualité et de gestion des programmes.

Les éléments clés de l'assurance-qualité de la mission sont fondés sur une stratégie d'approvisionnement du lancement prévoyant des fonds suffisants en cas d'imprévu. Elle permet de s'assurer que l'opérateur de lancement met en œuvre le personnel, les infrastructures et les moyens de partage des données nécessaires à l'intégration et au lancement, à la gestion des aléas, et à trouver un accord lorsqu'un problème apparaît. Une obligation de responsabilité claire constitue un autre aspect crucial de l'assurance-qualité de la mission. Une entité unique doit donc être responsable de comprendre les paramètres de qualification pour un vol spatial, d'en effectuer le suivi et de s'assurer de leur conformité au fil du temps.

Ensuite, la continuité et les vérifications indépendantes exigent la disponibilité de fonds pour entretenir les capacités techniques indépendantes indispensables pour analyser les problèmes potentiels et évaluer l'adéquation à un vol spatial. Il est enfin nécessaire de mener des revues techniques complètes. Il s'agit d'une part de certifier la compatibilité avec le vol spatial et d'autre part de donner le feu vert pour le lancement ainsi que d'analyser les données après le vol.

LE LANCEMENT

La mise d'un objet sur orbite requiert une quantité d'énergie considérable. À l'heure actuelle, cette énergie est obtenue en provoquant des réactions chimiques extrêmement énergétiques dans des moteurs très sophistiqués souvent fixées à des charges utiles prodigieusement coûteuses. De grandes précautions s'imposent pour augmenter les chances de réussite du lancement tout en minimisant les risques induits pour les personnes, les installations au sol et les véhicules aériens ou maritimes. La phase de lancement est considérée comme l'étape la plus dangereuse de toute mission spatiale.

Des satellites ont été lancés depuis près de 30 sites répartis dans le monde. Aujourd'hui, la plupart des lancements sont opérés depuis environ une douzaine d'entre eux. La construction et l'exploitation d'une aire de lancement en toute sécurité requièrent des études approfondies en matière de sauvegarde pour protéger les véhicules spatiaux et leurs contenus, les biens et les personnes au sol, tout en préservant l'environnement. Les ports spatiaux sont généralement implantés dans des régions faiblement peuplées afin de limiter le risque de dommages aux personnes ou aux biens en cas d'échec. Par ailleurs, la localisation de ces infrastructures à proximité d'océans ou de zones désertiques permet à la

trajectoire ascendante d'un lanceur de survoler de vastes régions relativement inhabitées. Cela contribue à limiter l'exposition des populations à la chute d'étages vides ou d'autres débris. Une fois le site choisi, un État est souvent tenu de remplir une évaluation environnementale pour s'assurer que l'exploitation du port spatial ne risque pas de polluer le milieu ou de perturber exagérément les habitats naturels des espèces sauvages. Enfin, la conception et le fonctionnement d'un port spatial doivent respecter les pratiques vertueuses adoptées au fil du temps sur les installations établies.

Il n'existe pas de règles internationales communément acceptées sur la façon de concevoir et d'exploiter un site de lancement. Les ports spatiaux relèvent généralement des biens publics et sont gérés à ce titre par des agences d'État. De nombreux pays ont mené des études visant à déterminer l'évolution vers des ports spatiaux à vocation commerciale. Certains ont pris des mesures incitatives destinées à autoriser la construction de sites exploités commercialement. À ce jour, le régime juridique le plus volontariste en matière d'installations spatiales commerciales a été établi par les États-Unis. D'autres pays se reportent souvent à la législation américaine en ce sens.

Considérations sur la sauvegarde de l'environnement terrestre

L'impact de la construction et de l'exploitation d'un site de lancement sur l'environnement terrestre peut être significatif. Les autorités nationales compétentes exigeront sans doute une étude d'impact sur l'environnement. Les promoteurs doivent anticiper les impacts des lancements et des activités connexes sur divers domaines environnementaux, comme la protection de l'atmosphère, les sources de bruits et leurs effets, et la préservation des milieux à la surface de la Terre.

Les conséquences sur l'atmosphère constituent l'une des préoccupations majeures. L'air ambiant à proximité de la surface terrestre est souvent contrôlé en vertu de normes nationales de qualité. Elles visent à s'assurer que les taux de substances polluantes n'atteignent pas des niveaux nocifs. Les carburants pour fusée sont hautement énergétiques et très volatils. Ils auraient des effets extrêmement dangereux sur l'air ambiant en cas de dégagement. Leur stockage et leur utilisation posent donc un problème unique. Certains lanceurs émettent en outre des gaz dangereux même en fonctionnement normal. D'autres types de lanceurs, notamment ceux qui disposent de moteurs à propergol solide, dégagent diverses sortes de particules lors de la traversée des couches supérieures de l'atmosphère. Ces émissions pourraient être réglementées à l'avenir.

Le bruit est la deuxième préoccupation environnementale. Les effets acoustiques d'un site de lancement potentiel doivent être appréhendés et évalués dans le contexte de l'environnement naturel. Les lancements génèrent des niveaux sonores susceptibles de perturber les habitats des espèces sauvages. Le bang sonique créé par les activités de lancement et de rentrée dans l'atmosphère sur des trajectoires données peut altérer davantage les espèces sauvages, les biens et même la physiologie humaine.

Enfin, les installations sont souvent situées dans des zones reculées, à l'écart des populations humaines, mais qui peuvent également être des habitats sauvages préservés. Les milieux terrestres ou marins, les zones humides et les autres environnements proches d'une aire de lancement peuvent tous présenter des spécificités protégées ou susceptibles de l'être. Les études de site et les plans d'atténuation des impacts doivent être menés avant la construction. La création d'une base de lancement à proximité de zones renfermant des habitats d'espèces menacées ou en voie de disparition doit tout particulièrement être évitée.

Les tensions entre nécessités spatiales, préservation des milieux naturels et intérêts économiques ont pesé dans les décisions du Japon quant au volume d'activité autorisé au Centre spatial de Tanegashima, au sud du pays. Les lancements étaient initialement limités à une plage de 190 jours par an, dans la limite de 17 lancements annuels, par respect pour les populations locales qui craignaient que les activités spatiales ne perturbent le secteur halieutique. Après des études complémentaires sur les impacts environnementaux et eu égard au besoin de procéder à des lancements toute l'année pour rester compétitifs, le Japon a levé ces restrictions en 2011. Le règlement REACH (Enregistrement, évaluation, autorisation et restriction des substances chimiques) de l'Union européenne s'applique à l'ensemble des entités de l'Union, secteur aérospatial compris. Les acteurs cherchant à mener des activités spatiales en Europe doivent se renseigner à ce propos.

Considérations sur la sauvegarde au sol

Une fois les questions environnementales traitées, une agence de régulation conduira très vraisemblablement un examen critique du dossier pour s'assurer qu'un nouveau site de lancement ne compromettrait pas la sûreté nationale, les enjeux de politique étrangère ou encore les obligations internationales du pays hôte.

L'évaluation des risques d'accident est ensuite menée. Les sites de lancement doivent être localisés de telle sorte qu'ils ne mettent pas en danger la santé et

la sécurité du public ni la sécurité des biens. Le couloir aérien d'un lanceur (les terres situées sous sa trajectoire) doit donc présenter une densité de population la plus faible possible afin de limiter au maximum les risques en cas de chute du lanceur ou d'étages vides. Des modèles permettent de calculer les risques pour le public. Certains pays, comme les États-Unis, définissent quantitativement des niveaux de risques d'accident acceptables.

De nombreux ergols solides et liquides sont hautement explosifs. La conception initiale d'un site de lancement doit donc prévoir un plan spécifique sur les matières explosives. On y trouvera la localisation de chacune des installations présentant un danger d'explosion, ainsi que les distances entre elles et avec les zones publiques. La manipulation et la gestion sécurisées des ergols explosifs sont absolument cruciales. Il existe des normes permettant de concevoir la construction d'infrastructures de lancement afin de maîtriser les causes d'explosions accidentelles, comme la foudre, l'électricité statique, les problèmes d'alimentation électrique et les rayonnements électromagnétiques.

Pour s'assurer de la sécurité du fonctionnement du site, l'exploitant doit impérativement maîtriser les accès, le calendrier des activités, les notifications, la tenue des registres adéquats et les procédures d'intervention et d'enquête en cas d'accident. L'accès au site doit être restreint au moyen de clôtures et autres barrières gardées par des agents de sécurité. Toute personne pénétrant sur le site doit avoir été formée aux procédures d'urgence et de sauvegarde. Un système d'alarme et une signalétique appropriée sont indispensables pour informer le personnel de toute situation d'urgence. Lorsqu'un site est susceptible d'accueillir simultanément différents opérateurs, l'exploitant doit prévoir des procédures de programmation des interventions, afin que les activités d'une société ne créent pas de dangers pour les autres.

Les zones dangereuses sont un autre sujet demandant une grande attention. La coordination avec les services nationaux de contrôle maritimes et aériens est indispensable pour définir les distances minimums entre tout appareil ou navire et les zones opérationnelles de lancement et de rentrée. Lors des activités de lancement, les bases situées près des zones navigables émettent des avertissements à destination des marins. Ces messages exigent l'évacuation des zones dangereuses durant des créneaux déterminés. Par ailleurs, des avis aux navigateurs aériens (NOTAM) sont émis dans les espaces environnant un site de lancement et en dessous d'un couloir de vol lorsque les calculs de risque d'accident dépassent certains seuils. Lors d'un lancement, des équipements de poursuite adaptés, à la fois embarqués à bord du lanceur et basés au sol, doivent être utilisés.

Sauvegarde du site durant le lancement

Le lancement d'un satellite depuis une base de lancement fait appel à d'indispensables opérations de planification, de coordination et de gestion des risques. Les opérations de sauvegarde de bases de lancement ont évolué au fil du temps sur les sites du monde entier. Les normes en cours d'élaboration par l'Organisation internationale de normalisation définissent des pratiques sûres applicables aux activités des sites de lancement, aux systèmes de sécurité embarqués et à d'autres domaines. La plupart des ports spatiaux du monde entier sont administrés par des États. Leurs approches de la sauvegarde peuvent varier. Cependant, les principes élémentaires sont les mêmes. Les pratiques de sauvegarde du site évoquées dans cette section font souvent référence aux réglementations commerciales élaborées et appliquées par la Federal Aviation Administration des États-Unis.

En premier lieu, une analyse de sauvegarde en vol est menée par un opérateur de lancement pour chaque vol. Il s'agit de maîtriser les risques pour le public susceptibles de se produire durant un lancement nominal ou en raison d'un lanceur défaillant. L'analyse d'appréciation des risques doit tenir compte de la variabilité associée à chaque source de danger pendant un vol, des paramètres nominaux et de chaque mode de réaction en cas de panne du lanceur, et enfin de chacun des environnements de vol externes et liés au véhicule. L'évaluation des risques doit par ailleurs étudier les populations potentiellement exposées et les performances de tout système de sécurité embarqué (et notamment des temporisateurs associés).

Les résultats de l'évaluation contribuent à la préparation d'un plan permettant d'isoler suffisamment le danger pour que le risque pour le public reste quantitativement acceptable. Le tableau 6 résume les différentes analyses requises dans le cadre d'une évaluation de la sauvegarde en vol.

Les critères de risques pour le public

Les administrations nationales de réglementation comme la FAA américaine définissent des critères quantitatifs spécifiques quant à l'exposition du public aux risques. Les opérateurs de lancement sont tenus de les respecter. Ces normes sont constituées de probabilités précises de risques dus à des débris inertes ou explosifs, à des émanations toxiques et à la surpression de choc en champ lointain. Ces limites quantitatives ne s'appliquent pas aux aéronefs ou aux navires. En conséquence, un opérateur de lancement doit délimiter des zones de danger en établissant des règles pour l'évacuation des navires et aéronefs de la zone de danger pendant les lancements.

Flight Safety Analyses	
Trajectory	Toxic release hazard
Overflight gate	Flight safety limits
Probability of failure	Time-delay
Malfunction turn	Far-field overpressure blast effects
Hold-and-resume gate	Straight-up time
Ground debris risk	Flight hazard-area
Orbital debris	Collision avoidance
Data loss flight time and planned safe flight state	

Tableau 6 – Les analyses de sauvegarde en vol.

Les systèmes d'autodestruction

Pour anticiper les risques pour le public, les lanceurs doivent être équipés de systèmes d'autodestruction. Leur activation répond à trois objectifs : désintégrer le véhicule en plus petits débris, brûler les carburants restants et isoler le public des effets néfastes de la surpression. Les critères d'autodestruction sont affinés au cours de plusieurs analyses de sauvegarde en vol et sont mis en œuvre dans le cadre du plan de sauvegarde en vol. Les systèmes d'autodestruction constituent un élément crucial de la sauvegarde. Dans certains cas, notamment sur les anciens lanceurs, l'utilisation de carburants toxiques rend préférable la destruction du véhicule loin du site de lancement, sur une trajectoire survolant des zones inhabitées.

Le plan de sauvegarde en vol

Rédigé à partir des conclusions de l'analyse de sauvegarde en vol, le plan de sauvegarde en vol définit les procédures de lancement et de conduite de vol assurant la sécurité du public, et indique les mesures à prendre en cas d'imprévu. Le plan de sauvegarde en vol doit désigner le personnel responsable chargé d'approuver et d'exécuter chacune des étapes du plan.

Les éléments d'un plan de sauvegarde en vol définissent les règles de sécurité en vol, le système de sauvegarde en vol, les paramètres de la trajectoire, ainsi que des

données sur la dispersion des débris. Le plan doit également identifier les zones dangereuses à évacuer et à contrôler pendant le lancement, ainsi que les systèmes et services de soutien, y compris tout aéronef ou navire utilisé par un opérateur de lancement. Enfin, le plan décrit les essais, vérifications, répétitions et autres opérations contribuant à la sauvegarde en vol.

Quant au plan de sauvegarde au sol, il prévoit l'exécution de contrôles définis par l'analyse de sauvegarde au sol de l'opérateur de lancement et qui anticipent toutes les questions de sécurité publique. Ce plan doit au minimum comporter une description du lanceur et de toute charge utile (ou classe de charge utile). Il cerne impérativement tous les dangers potentiels, et notamment les explosifs, les ergols, les substances toxiques et autres matières dangereuses, les sources de rayonnements et les systèmes pressurisés. Ce plan doit également illustrer la localisation exacte de chaque danger potentiel sur le lanceur et indiquer l'emplacement de chaque opération dangereuse menée sur le site de lancement pendant les étapes du lancement.

Des plans complémentaires sont également nécessaires dans le cadre du plan de sauvegarde en vol:

- Plan relatif aux équipements et à l'instrumentation de soutien du lancement
- Plans d'accords locaux et de coordination publique
- Plan de gestion des fréquences
- Plan de surveillance et d'habilitation de sécurité de la zone dangereuse
- Plan relatif aux composants électroniques du système d'autodestruction en vol
- Plan de communication
- Plan d'enquête accident
- Plan de compte à rebours

Les opérations essentielles à la sauvegarde avant le vol

Un opérateur de lancement doit effectuer diverses manipulations essentielles à la sécurité destinées à protéger le public des dangers du lancement et du vol. Par exemple, un plan de compte à rebours doit être diffusé auprès de l'ensemble du personnel responsable du compte à rebours et du vol du lanceur. Toute région terrestre, maritime ou aérienne avoisinante nécessaire au lancement doit être examinée et surveillée pour s'assurer que le nombre de sites d'accueil du public ainsi que leur localisation répondent aux normes de sécurité. L'opérateur doit

surveiller la météorologie pour déceler d'éventuelles conditions susceptibles de menacer le déroulement sécurisé d'un lancement, comme les risques de foudre. Pour garantir la précision du système de poursuite du lanceur, ses données doivent être vérifiées.

Il est impératif de s'assurer de la préparation des systèmes de sauvegarde en vol pour pouvoir détruire intentionnellement le lanceur s'il venait à dépasser les tolérances prévues. Les moyens de poursuite doivent comporter au minimum deux installations avant le lancement, puis une installation vérifiée tout au long de la poursuite du vol, du lancement à l'injection orbitale dans le cas des lancements orbitaux, ou jusqu'à la fin de la propulsion dans le cas des lancements suborbitaux.

LES ACTIVITÉS EN ORBITE

Plus de 1 500 satellites opérationnels tournent en permanence autour de la Terre pour effectuer des missions très diverses essentielles à l'économie et à la sécurité. L'exploitation à distance de ces engins spatiaux en conjuguant exécution des missions et sécurité en vol exige de maîtriser un grand nombre de risques. L'évitement des collisions avec les autres satellites en service et avec les centaines de milliers de débris orbitaux n'est pas le moindre d'entre eux. Les sections suivantes décrivent plus en détail les problèmes majeurs que les opérateurs de satellites doivent traiter pour garantir le bon fonctionnement de leurs appareils et éviter les collisions ou les incidents susceptibles de compromettre la viabilité à long terme de l'environnement spatial.

La détermination précise d'une orbite et le suivi d'un satellite

En premier lieu, un exploitant doit déterminer la position exacte de son propre satellite et connaître la localisation des autres objets qui l'exposent à un risque de collision. La majorité des satellites en orbite n'utilise pas le système GPS de positionnement – parfois, cela est tout simplement impossible. Naturellement, les centaines de milliers de débris spatiaux ont encore moins cette capacité. L'immense majorité des objets spatiaux doit être observée au moyen de systèmes fonctionnant indépendamment de l'objet suivi afin de calculer leurs orbites. Ces activités relèvent du domaine de la surveillance de l'espace, plus récemment désignée sous le terme « connaissance de l'environnement spatial ».

Les exploitants de satellites doivent déterminer la façon d'obtenir des informations sur la trajectoire orbitale de leurs satellites et des autres objets

spatiaux. La détermination de l'orbite d'un satellite (ou orbitographie) consiste à recueillir des données sur la trajectoire d'un satellite, généralement par rapport au centre de gravité de la Terre. La théorie fondamentale implique d'établir la position et la vitesse d'un objet (son état) à un moment précis du passé, puis d'utiliser une série d'équations différentielles qui modélisent ses changements de position et de vitesse au fil du temps afin d'anticiper ses positions futures. Dans le vocabulaire de l'aérospatiale, cela s'appelle « calculer des éphémérides », c'est-à-dire un ensemble de points définissant la trajectoire à venir d'un satellite. Pour déterminer une orbite avec le maximum d'exactitude, il est nécessaire de formuler des équations du mouvement les plus précises possible. Elles devront intégrer les diverses forces naturelles ou perturbations qui agissent sur le satellite, comme les irrégularités du champ de gravité terrestre, le freinage atmosphérique et l'attraction gravitationnelle du Soleil et de la Lune.

La détermination d'une orbite part de données sur la position et la vitesse d'un satellite appelées « observations ». Une observation isolée mesure la position d'un satellite (parfois également sa vitesse) à un moment précis et par rapport à l'emplacement d'un capteur défini. Une série d'observations effectuées sur une période donnée est appelée « trace ». Les observations d'un capteur peuvent être utilisées seules ou combinées avec les données d'autres capteurs qui suivent l'objet spatial en d'autres points de son orbite.

Chaque type de mesure présente des caractéristiques propres. Cela produit différents degrés de confiance dans les données de l'état d'un objet en fonction de la méthode de mesure. La principale source de données est généralement constituée par des radars terrestres, ainsi que des télescopes terrestres et spatiaux. Les télescopes peuvent également exploiter des techniques de télémétrie laser sur satellite (SLR), qui permettent de mesurer avec grande précision la distance instantanée du satellite. Les observations radar peuvent fournir des données sur la vitesse. Elles disposent généralement d'excellentes capacités de poursuite angulaire, mais leurs estimations de la vitesse radiale peuvent être médiocres. La télémétrie laser sur satellite peut apprécier la portée et la vitesse radiale avec une excellente précision, mais ne donne pas une bonne estimation de la vitesse angulaire.

Indépendamment du type de capteur, il est important de bien appréhender le degré de précision et d'exactitude des données de poursuite obtenues. Les capteurs sont souvent chargés périodiquement de suivre des sphères d'étalonnage ou autres objets spatiaux dont la trajectoire orbitale est bien connue afin d'évaluer

leur précision. Si les mesures d'un capteur révèlent un écart systématique, un correctif peut être appliqué sous la forme d'un biais délibéré destiné à compenser totalement ou partiellement l'erreur. Le fonctionnement des capteurs au fil du temps peut être analysé pour déterminer l'évolution de leur précision, ce qui permet de leur affecter un facteur de pondération pour combiner leurs données par rapport à d'autres capteurs.

La poursuite précise d'un objet spatial exige le recueil de données sur de nombreuses parties de son orbite. Cela implique d'utiliser un réseau mondial de capteurs terrestres ou spatiaux. L'exploitation et l'entretien d'un tel réseau coûtent très cher. C'est pour cette raison que la poursuite des satellites et des débris spatiaux relève principalement du domaine public. À ce jour, les pouvoirs publics des États-Unis constituent la première source de données de ce type pour le public, grâce au Joint Space Operations Center de l'armée américaine. Cependant, de plus en plus de moyens de poursuite étatiques et non étatiques se développent et offrent leurs services aux exploitants de satellites.

L'extrapolation des orbites

La connaissance de la position d'un objet au moment présent ne constitue pourtant qu'une partie du problème. En effet, il est également nécessaire de déterminer où un objet passera dans le futur pour évaluer le risque de collision. Cela implique de maîtriser les diverses forces s'exerçant sur un objet orbital : la gravité terrestre, mais aussi celles du Soleil et de la Lune, la pression de radiation solaire et le freinage atmosphérique. Ce dernier pose des problèmes conséquents pour les objets évoluant en orbite terrestre basse. Les scientifiques ont consacré d'immenses efforts à l'élaboration de modèles mathématiques permettant d'estimer comment ces phénomènes et les forces naturelles en général (phénomènes de « perturbation ») modifient peu à peu les trajectoires des satellites. L'une de ces forces reste particulièrement difficile à modéliser : la poussée nécessaire aux manœuvres orbitales. La plupart des satellites en service doivent effectuer périodiquement des déplacements de correction de leur trajectoire pour rester sur l'orbite dévolue à l'accomplissement de leur mission. Toute manœuvre effectuée durant le créneau de réalisation d'un événement prévu – comme l'éventualité d'une collision avec un autre objet – invalide l'analyse. Ainsi, les modèles et les prévisions doivent tenir compte à la fois de la modélisation des perturbations naturelles et de celle des manœuvres envisagées.

Or, il est essentiel que l'exploitant d'un satellite maîtrise ces éléments pour accomplir sa mission. Le partage d'informations avec les autres opérateurs peut

fournir des mises à jour plus opportunes et éviter des confusions découlant de doutes sur les intentions d'un autre exploitant. La difficulté relève généralement de l'utilisation de systèmes de référence géographique différents selon les opérateurs (parfois même de systèmes de référence de temps différents). Cela impose de les normaliser (ou de les centraliser en un système de référence commun) pour pouvoir les utiliser. Ce processus exige une compréhension complète des unités, des coordonnées et du temps, ainsi qu'un moyen de valider ces informations, puisque de nombreux systèmes satellitaires n'ont pas été conçus pour être interopérables avec ceux d'utilisateurs tiers, mais seulement d'être cohérents pour leur exploitant.

Les résultats doivent également être partagés de façon normalisée pour s'assurer que chaque opérateur saura appréhender et utiliser ces données. Ce partage doit être entrepris de façon régulière pour garantir une compréhension commune de la façon d'exploiter ces données et ainsi éviter toute possibilité d'interprétation erronée lors d'une intervention face à un événement grave.

Deux méthodes pour combiner des observations d'un même état

Deux méthodes principales permettent de combiner plusieurs observations pour déterminer un même état d'un satellite. La méthode traditionnelle est celle du traitement par lots. Elle repose sur le principe mathématique bien connu des « moindres carrés », qui sélectionne la solution minimisant la distance entre toutes les positions observées d'un objet et la trajectoire projetée.

Si la version la plus simple de la méthode des moindres carrés est relativement évidente et simple à calculer, elle présente trois défauts majeurs. Premièrement, chaque erreur d'observation est pondérée de la même façon, même si la précision des observations peut varier énormément. Une observation peu fiable provenant d'un capteur a le même poids dans l'estimation finale qu'une observation extrêmement précise d'un autre capteur. Deuxièmement, les observations peuvent être corrélées entre elles. Or, l'utilisation d'observations corrélées dans un modèle simple des moindres carrés transgresse l'une de ses hypothèses mathématiques sous-jacentes. Troisièmement, cette méthode ne considère pas les erreurs comme des échantillons issus d'un processus aléatoire et n'a jamais recours à des informations statistiques.

Pour surmonter ces limites, il est possible d'utiliser une méthode qui détermine une formule de moindres carrés pondérée et la variance minimum. La méthode des moindres carrés pondérés sélectionne une estimation x qui minimise la somme

pondérée des carrés issus des erreurs d'observation calculées. Cet algorithme permettant de déterminer l'estimation d'un état relève du « traitement par lots ». Cette appellation dérive du fait que les données sont généralement accumulées en amont et traitées en un seul lot pour déterminer la solution. La formulation par lots fournit une estimation de l'état à une date ou à un instant donné au moyen d'un lot de données complet. Cette estimation et la matrice des covariances associée peuvent ensuite être cartographiées pour les appliquer à d'autres dates.

L'algorithme d'estimation séquentielle est une méthode plus moderne pour combiner diverses observations de l'estimation d'un même état. En estimation séquentielle, les observations sont traitées dès réception. Cet algorithme est souvent appelé filtre de Kalman. Il utilise les nouvelles observations pour corriger constamment ses estimations de l'état à venir. L'algorithme d'estimation séquentielle part d'un état estimé et de sa matrice de covariance, puis les extrapole à des dates futures. Les nouvelles observations de l'état sont utilisées pour corriger l'état originel de façon récursive. Le processeur séquentiel offre une estimation de l'état pour chaque date d'observation en fonction des observations recueillies jusqu'alors. Cette solution et la matrice de covariance peuvent également être projetées pour d'autres dates.

Les deux techniques peuvent donner une estimation erronée de l'imprécision réelle dans l'état prédit. Avec la méthode de l'algorithme d'estimation séquentielle, la matrice de covariance de l'erreur d'estimation de l'état peut être proche de zéro lorsque le nombre d'observations s'accroît. La grandeur des éléments de la matrice de covariance diminue en fonction de la densité, du contenu des informations et de la précision des observations. Un effet similaire se produit avec le traitement par lots, puisque la matrice de covariance de l'erreur d'estimation sous-évalue généralement l'imprécision réelle de l'état prédit.

Normes et procédures d'évaluation des rapprochements

Outils essentiels de réduction des risques orbitaux, les évaluations des rapprochements visent à déterminer les objets susceptibles de se rapprocher et potentiellement d'entrer en collision avec un engin spatial. Il s'agit à priori d'un travail simple. L'exploitant doit simplement connaître la localisation de chacun des objets et être capable de prévoir leur position durant une période suffisamment longue pour pouvoir engager une manœuvre si l'approche est jugée dangereuse. Sur la base de ces informations, le processus de vérification de chacun des satellites d'un opérateur peut être effectué rapidement grâce à des techniques analytiques bien maîtrisées. La difficulté vient de la compréhension des limites

qui empêchent d'effectuer efficacement une évaluation des rapprochements et de définir les domaines où des améliorations sont nécessaires.

L'évaluation est généralement effectuée pour deux trajectoires, chacune représentant la position d'un objet spatial au fil du temps. La distance relative entre les deux objets est calculée pour une période de temps donnée. Les trajectoires peuvent être extrapolées à partir d'éphémérides issues de catalogues très précis transmis par des fournisseurs spécialisés, ou en exploitant les positions mesurées par le satellite lui-même. Un rapprochement se produit lorsque la distance relative atteint son minimum en une zone donnée, couramment appelé point de rapprochement maximal.

La gestion opérationnelle des risques de collision commence par le calcul de prévisions de rapprochement et se termine par une décision d'intervention ou de non-intervention de la part des exploitants de la mission. Le processus se décompose en plusieurs étapes:

- Examen d'un ensemble d'objets spatiaux par rapport à un autre ensemble afin de prévoir d'éventuels rapprochements, ou conjonctions.
- Enregistrement de tous les rapprochements susceptibles de passer sous une limite de distance prédéfinie au cours d'une période de temps déterminée.
- Évaluation et quantification du risque de collision pour chaque rapprochement anticipé.
- Élaboration et exécution de manœuvres d'évitement lorsque le rapprochement dépasse la limite de risque définie par l'opérateur.

Les collisions potentielles peuvent être anticipées par des opérateurs de satellites, des organisations d'appui opérationnel, comme l'organisation indépendante à but non lucratif *Aerospace Corporation* ou la *Space Data Association*, et des organisations gouvernementales comme le commandement stratégique des États-Unis (USSTRATCOM) ou les agences spatiales nationales. Pour obtenir le maximum d'efficacité pour les opérateurs satellitaires, l'entité chargée de l'analyse de rapprochement doit disposer de données précises sur les trajectoires des deux satellites actifs, et notamment sur les manœuvres prévues pendant la période de prévision, et sur la trajectoire des autres objets spatiaux.

L'évaluation opérationnelle des rapprochements

Le processus d'évaluation des rapprochements est mené tout au long de la

durée de vie d'un satellite, avant même son lancement et jusqu'aux dernières étapes de sa vie. Les phases d'évaluation des rapprochements recouvrent donc le lancement, le début de fonctionnement en orbite, les opérations sur l'orbite visée, l'évitement des collisions et la désorbitation ou l'élimination responsable du satellite. L'évaluation des rapprochements préalable au lancement consiste à prédire et à signaler les rapprochements dangereux entre les lanceurs et les objets en orbite. Il s'agit d'analyser les trajectoires de lancement pour y déceler la présence éventuelle d'objets répertoriés au catalogue. L'opérateur de lancement propose généralement les trajectoires, qui peuvent représenter plusieurs tentatives correspondant à différentes heures de lancement au sein d'une même fenêtre de tir.

Le processus d'analyse compare la trajectoire du lanceur (fournie sous forme d'éphémérides) à un catalogue d'objets spatiaux. Le processus préliminaire peut commencer des semaines, voire des jours avant la date du lancement, en fonction des exigences de l'opérateur responsable ou du site de lancement. Des analyses complémentaires sont ensuite menées à des intervalles prédéterminés, comme à J-4, J-3 et J-2 jours avant le lancement, puis le jour même. Cela permet d'obtenir l'évaluation la plus précise et la plus actuelle.

Les résultats sont fournis pour un volume d'espace déterminé en fonction de la mission. Une mission robotisée avec des charges utiles actives, par exemple, nécessitera peut-être une distance de sécurité de 25 kilomètres. L'opérateur de lancement recevra donc des notifications pour tout rapprochement à une distance inférieure à cette limite.

Certaines entités fournissent des services d'évaluation des rapprochements préalables au lancement. L'armée américaine effectue ces analyses pour tous les lancements ayant lieu depuis les sites de lancement Eastern Test Range et Western Test Range de l'US Air Force, et pour tout autre opérateur international en faisant la demande. Les autres fournisseurs de données, comme l'organisation Aerospace Corporation, conduisent également des évaluations des rapprochements préalables au lancement. Enfin, de nombreuses agences de lancement dans le monde entier effectuent des évaluations internes indépendantes au moyen de données publiques.

Le débat sur l'utilité des évaluations des rapprochements préalables au lancement n'est pas clos. Dans bien des cas, le degré d'incertitude reste important quant à l'orbite d'injection visée et la trajectoire anticipée des satellites en orbite. Les évaluations des rapprochements préalables au lancement peuvent donc

général, de nombreux faux positifs et entraîner à tort des retards de lancement ou des lancements avortés. Certains opérateurs de lancement en ont déduit que ces évaluations ne valent d'être réalisées que par rapport à la Station spatiale internationale, tandis que d'autres les pratiquent pour un bien plus grand nombre de satellites et de débris. Cependant, l'évaluation des rapprochements préalable au lancement permet à un exploitant de satellite de connaître les objets placés « au voisinage » de son engin et donc de savoir avec lesquels de ses homologues il devra établir des relations. Des opérateurs de satellites décident parfois d'altérer l'orbite opérationnelle visée de leur engin lorsqu'une évaluation des rapprochements préalable au lancement révèle qu'il se dirige vers une région très fréquentée. Dans le cas du satellite chinois TanSat, la décision avait été prise de ne pas le lancer dans la constellation A-Train, dédiée à l'observation de la Terre, en raison de la complexité des exigences et des procédures que cela imposerait aux participants de l'A-Train.

Les évaluations des rapprochements concernant le début de fonctionnement en orbite commencent à la séparation du satellite et du lanceur et prennent fin à son arrivée sur l'orbite visée. Cette phase peut prendre des jours, voire des mois, en fonction des manœuvres et des méthodes envisagées. Elle pose des difficultés d'évaluation spécifiques. Tout d'abord, le volume limité de données d'observation dans les tout premiers jours consécutifs au lancement peut retarder des prévisions fiables de la trajectoire anticipée d'un nouvel objet. Par ailleurs, les manœuvres permanentes de l'engin rendent bien plus difficiles les opérations régulières de poursuite et de détermination de l'orbite. Durant cette période, les évaluations des rapprochements exigent donc souvent de recourir à des données fournies par l'opérateur pour des analyses fondées sur les éphémérides.

En général, pour l'évaluation des rapprochements au début du fonctionnement en orbite, l'opérateur indique à un fournisseur de données le calendrier d'exécution et la description des manœuvres prévues, ainsi que la précision d'analyse requise. À mesure de la progression des premières phases des opérations en orbite, l'opérateur communique au fournisseur de données les éphémérides de son satellite avant et après chacune des manœuvres pour examen par rapport aux données du catalogue des objets spatiaux. Cet échange de données permet à l'exploitant de procéder à d'éventuelles manœuvres d'évitement, tout en renforçant la précision des données sur la position du satellite exploitées par le fournisseur de données. Le Joint Space Operations Center propose ce service à tous les exploitants de satellites qui fournissent leurs éphémérides. Certaines agences spatiales assurent également ce service pour les charges utiles mises en

orbite pour leur gouvernement. Plusieurs entités privées, comme des instituts universitaires ou des sociétés commerciales, commencent à fournir des données et des services de connaissance de l'environnement spatial.

Cependant, comme pour toute évaluation des rapprochements, les rapprochements durant les premières phases orbitales peuvent être difficiles à anticiper. L'évaluation des rapprochements au début du fonctionnement en orbite s'est révélée problématique dans le cas du satellite européen Sentinel 1-A. Ce satellite est lancé le 3 avril 2014. Au cours de son premier jour en orbite, un rapprochement très dangereux avec un satellite américain hors service est signalé. Ce risque n'avait pas été décelé lors des analyses préalables au lancement. La planification et l'évitement s'avèrent extrêmement complexes, puisque Sentinel 1-A est en train d'effectuer diverses opérations pour déployer ses panneaux solaires et ses antennes. Finalement, la manœuvre d'évitement se déroule sans encombre et une situation potentiellement désastreuse est évitée.

L'évaluation des rapprochements une fois en orbite est principalement utilisée pour assurer la sécurité des vols spatiaux tout au long de la durée de vie d'un satellite. Le processus analyse les trajectoires de tous les satellites en service par rapport à tous les autres objets spatiaux catalogués. Les résultats offrent aux exploitants de satellites des prévisions sur les rapprochements dangereux à venir. Ces informations leur permettent de prendre des mesures de réduction des risques de collision. L'indicateur le plus pertinent à cette fin est la probabilité de collision (P_c).

La durée de prévision issue des résultats des analyses de rapprochement dépend grandement du régime orbital du satellite. Pour les satellites en orbite géostationnaire, les prévisions ont généralement une durée supérieure à celles de toutes les autres orbites, principalement du fait que les orbites géostationnaires sont plus faciles à modéliser sur de longues périodes. La taille du volume à analyser varie en fonction des types d'orbites. On recherche généralement un grand volume d'analyse et un volume plus restreint de signalements de rapprochements dangereux. Le tableau 7 illustre les définitions de différents types d'orbites et montre comment elles peuvent être associées à des durées de prévision et à des précisions d'analyse spécifiques en fonction de leur degré de risque.

L'exploitant du satellite, le fournisseur de données ou le prestataire de services peuvent mener des analyses de rapprochement à partir des calendriers imposés par des missions déterminées utilisant des variations de trajectoire, comme

Examples of CA Screening Volumes					
Orbit Regime	Orbit Regime Criteria/Definition	Predict/ Propagate/ Time	Radial Miss (km)	In-Track Miss (km)	Cross-Track Miss (km)
GEO	1300min < Period < 1800 min Eccentricity < 0.25 & Inclination < 35°	10 days	12	364	30
HEO 1	Perigee < 2000 km & Eccentricity > 0.25	10 days	40	77	107
MEO	600 min < Period < 800 min Eccentricity < 0.25	10 days	2.2	17	21
LEO 4	1200 km < Perigee ≤ 2000 km Eccentricity < 0.25	7 days	0.5	2	2
LEO 3	750 km < Perigee ≤ 1200 km Eccentricity < 0.25	7 days	0.5	12	10
LEO 2	500 km < Perigee ≤ 750 km Eccentricity < 0.25	7 days	0.5	28	29
LEO 1	Perigee ≤ 500 km Eccentricity < 0.25	7 days	2	44	51

Tableau 7 – Exemples de volumes d'analyse pour les calculs de rapprochements

indiqué plus haut. Actuellement, le Joint Space Operations Center est le principal fournisseur de données pour les opérateurs spatiaux du monde entier. Il effectue des analyses à partir son catalogue de haute précision (High Accuracy Catalog) et d'éphémérides. Pour tous les objets en service, ses analyses fondées sur son catalogue HAC sont produites au minimum une fois par jour. En outre, il calcule des résultats lorsque les exploitants de satellites fournissent les vecteurs d'état de leurs satellites à partir d'éphémérides. Ce dernier processus est particulièrement utile lorsque les exploitants de satellites souhaitent vérifier l'impact de manœuvres prévues. Des prestataires comme la Space Data Association sont spécialisés dans les analyses éphémérides contre éphémérides, service complémentaire proposé aux exploitants choisissant d'adhérer à cette organisation.

Les rapports d'évaluation des rapprochements peuvent être produits et communiqués sous diverses formes. La norme prédominante est le format CDM (Conjunction Data Message), défini par le Comité consultatif pour les systèmes de données spatiales, un groupement international d'agences spatiales. Bien que le Joint Space Operations Center reste actuellement le principal fournisseur

de données pour la sécurité des vols spatiaux, il ne propose pas d'analyses approfondies ou de recommandations pour la réduction des risques. Il fournit plutôt le maximum de données possible pour permettre aux opérateurs de concevoir et d'exécuter leurs propres stratégies de réduction des risques. D'autres organismes étatiques ou non, comme la NASA, le Centre national d'études spatiales (CNES) et la Space Data Association, peuvent fournir des analyses approfondies ou des recommandations pour les opérateurs.

L'évaluation des risques et l'évitement des collisions

Tous les satellites ne disposent pas de capacités de manœuvre en orbite. Toutefois, en cas de risque de collision entre deux objets spatiaux dont l'un au moins dispose de moyens d'évitement, des décisions concernant d'éventuelles manœuvres permettant de limiter le risque doivent être prises. Elles impliquent de calculer la probabilité de collision et le coût potentiel d'une manœuvre (notamment en matière de consommation de carburants ou d'interruption de service). Le calcul du risque de collision exige de connaître la position future des deux objets, mais également le degré d'incertitude associé à ces informations. De ces deux facteurs découle la probabilité d'une collision, qui doit être combinée avec les conséquences futures d'un scénario de collision déterminé.

Malheureusement, le calcul d'une probabilité de collision est complexe. La plupart des données actuellement disponibles à propos des débris spatiaux et des autres satellites (données fournies par le Joint Space Operations Center incluses) ne sont pas accompagnées d'informations sur l'incertitude des données, pour des raisons de protection de la sûreté nationale. Le Joint Space Operations Center a récemment commencé à intégrer des paramètres d'incertitude aux messages récapitulatifs sur les rapprochements envoyés aux exploitants de satellites. Pourtant, ces éléments peuvent induire en erreur, en raison de limites découlant de décisions prises lors de la conception du réseau de surveillance de l'espace. À l'époque, le stockage des données et la bande passante disponible étaient limités. Il n'était donc pas réalisable de renvoyer toutes les informations recueillies lors du passage d'un satellite en visibilité d'un radar de poursuite pour les traiter. Les données étaient donc sous-échantillonnées afin d'en extraire un ensemble le plus réduit possible (ce qui est toujours le cas). Cette méthode élimine une grande part des incertitudes liées à la précision des mesures. En conséquence, les incertitudes associées au calcul d'orbite qui en résulte peuvent être jugées à tort plus réduites qu'elles ne le sont réellement. Ce problème s'aggrave lorsque l'on cherche à suivre un satellite manœuvrant : l'absence de connaissance qu'une manœuvre a été effectuée peut entraîner une prévision d'orbite erronée, des incertitudes

exagérées, voire les deux. Des résultats similaires peuvent être constatés lors de la tentative de traitement des observations de grappes de satellites en orbite géostationnaire lorsque les observations ne sont pas correctement associées à chaque satellite de la grappe.

D'un point de vue pratique, il incombe à chaque exploitant de tout mettre en œuvre pour la poursuite de ses propres satellites, de calibrer régulièrement les résultats à partir d'autres sources de données (notamment pour éviter des problèmes au niveau du système) et d'être prêt à échanger ces données avec d'autres opérateurs dans les meilleurs délais possible. La trajectoire prévue doit anticiper les perturbations naturelles et les manœuvres orbitales planifiées. De nouvelles estimations d'orbite doivent être fournies aussi vite que possible après avoir réalisé, ajouté ou annulé une manœuvre. Ces données doivent être fournies sous forme d'éphémérides projetées sur un horizon suffisamment lointain pour que l'échange et l'analyse des données permettent de prendre des décisions éclairées, c'est-à-dire, suffisamment tôt pour programmer et conduire une manœuvre d'évitement si nécessaire.

Face à l'absence d'informations sur les incertitudes ou en présence d'informations incomplètes ou potentiellement erronées, il est impératif de comparer un grand nombre de sources de données orbitales afin d'évaluer de façon plus réaliste les incertitudes relatives aux orbites concernées. Ce processus doit être appliqué cas par cas, les situations ne pouvant être présumées similaires dans toutes les circonstances.

Toutes les collisions ne peuvent malheureusement pas être évitées. Cependant, ces étapes permettent de réduire le risque de collision grave susceptible de porter complètement atteinte aux capacités d'un satellite tout en créant de nouveaux débris de grande taille ou encore plus de petits débris qui compromettraient l'environnement des orbites

D'un point de vue pratique, il incombe à chaque exploitant de tout mettre en œuvre pour la poursuite de ses propres satellites, de calibrer régulièrement les résultats à partir d'autres sources de données (notamment pour éviter des problèmes au niveau du système) et d'être prêt à échanger ces données avec d'autres opérateurs dans les meilleurs délais possible.

proches de la Terre. La coopération et les échanges entre exploitants et avec les services de poursuite de satellites sont déterminants pour assurer le succès de cette mission.

La météorologie de l'espace

Outre les collisions éventuelles avec d'autres objets orbitaux, l'environnement spatial lui-même peut s'avérer dangereux pour les satellites. Le terme « météorologie de l'espace » désigne les événements et les effets physiques et électromagnétiques émanant du soleil qui influent sur la magnétosphère, l'ionosphère, l'atmosphère et la surface terrestre. Ces phénomènes, comme les éruptions solaires, le vent solaire, les orages géomagnétiques et les éjections de matière coronale peuvent avoir des effets néfastes sur les activités orbitales et terrestres.

Le Soleil émet constamment des particules chargées électriquement, qui se diffusent dans l'ensemble du système solaire. C'est le phénomène du vent solaire. Il émet également des rayonnements électromagnétiques sur une vaste gamme de longueurs d'onde, notamment les ondes radioélectriques, l'infrarouge, la lumière visible, les ultraviolets et les rayons X. Les changements d'intensité de ces émissions provoquent divers effets qui forment la météorologie de l'espace:

- Les taches solaires, susceptibles d'augmenter les émissions contribuant au vent solaire. Des orages géomagnétiques s'ensuivent. Ils sont généralement à l'origine des aurores boréales et australes. Dans les cas les plus graves, ils peuvent provoquer la surcharge des réseaux électriques terrestres.
- Les éjections de matière coronale, corrélées à un nombre accru de particules électriquement chargées éjectées dans le vent solaire. Leurs effets sont similaires à ceux des taches solaires.
- Les trous coronaux, qui entraînent également une activité plus prononcée du vent solaire.
- Les éruptions solaires, qui produisent des flux de rayonnements très concentrés

Hormis les aurores australes et boréales, les effets de la météorologie de l'espace ne sont généralement pas perceptibles à l'œil nu. La plupart du temps, le champ magnétique terrestre nous protège des effets du soleil et de ses rayonnements. Cependant, les événements de météorologie de l'espace marqués peuvent avoir des effets très dangereux sur le fonctionnement des engins spatiaux. Les exploitants doivent en être bien conscients. Il s'agit notamment:

- De niveaux anormalement élevés de particules chargées susceptibles de dégrader les composants et les équipements des satellites.
- D'interférences avec les signaux électriques, notamment ceux qui sont utilisés par les satellites de communication hautes fréquences et ultra-hautes fréquences et les systèmes mondiaux de navigation par satellite.
- D'interférences avec les radars ou les systèmes de poursuite d'objets spatiaux lorsqu'ils sont orientés vers le Soleil ou vers les pôles.
- D'une trainée accrue des satellites en orbite basse.
- D'expositions potentielles à des radiations plus intenses pour les êtres humains en orbite.

Les phénomènes de météorologie de l'espace les plus puissants peuvent également perturber les systèmes terrestres les plus vulnérables, comme les réseaux d'approvisionnement énergétique et les systèmes destinés à l'aviation.

La météorologie de l'espace est généralement corrélée avec un cycle de 11 ans oscillant entre maximum et minimum solaires, bien que des phénomènes notables puissent avoir lieu à tout moment. Des agences d'État, comme le centre de prévision Space Weather Prediction Center de la NOAA et l'armée de l'air américaine, fournissent des services de prévision de météorologie de l'espace. Ils se chargent notamment d'effectuer la surveillance et d'émettre des avertissements et des alertes. En fonction du type d'activité, les veilles, les avertissements et les alertes peuvent être émis de 10 minutes à 72 heures à l'avance. Les événements de météorologie de l'espace sont classés sur une échelle en fonction de leur gravité. Les exploitants et autres parties intéressées peuvent s'abonner au service de prévision auprès du Space Weather Prediction Center de la NOAA.

La détection des anomalies des satellites, les interventions et les actions correctives

De nombreux types d'anomalies peuvent se produire au cours du fonctionnement d'un engin spatial. Elles se traduisent généralement par le comportement non nominal d'une unité, d'un sous-système ou de l'ensemble du système. Les causes exactes d'une anomalie peuvent relever d'une multitude de sources : l'environnement spatial (p. ex. : particules hautement énergétiques issues d'éjections de matière coronale, collisions avec des micrométéorites, charge électrique d'un véhicule), d'éventuels défauts de conception (déperditions thermiques dues à une isolation insuffisante, bugs d'un logiciel de vol résultant d'une division par zéro), de la défaillance de pièces ou de mauvaises techniques de fabrication (débris sur un chemin de roulement, défaillance d'un commutateur)

et même d'erreurs procédurales ou humaines pendant l'exploitation (séquence incorrecte d'alimentation électrique d'une unité, transmission accidentelle de commandes inopportunes, brouillage non intentionnel de fréquences par des sources basées au sol ou dans l'espace).

Une anomalie peut être tout à fait bénigne et même passer inaperçue durant des jours, des semaines, des mois, voire des années. En revanche, dans les cas extrêmes, elle peut entraîner la perte totale de la mission. Une préparation adéquate et complète aux anomalies et aux dépannages correspondants, ainsi qu'un apprentissage continu à partir de ces événements peut radicalement augmenter la durée de vie d'une mission ou au contraire y mettre un terme prématurément pour des raisons qui auraient pu être évitées.

La détection des anomalies

Un opérateur peut entreprendre plusieurs mesures pour améliorer ses capacités à détecter rapidement d'éventuelles anomalies pendant le fonctionnement d'un satellite. L'aspect le plus important consiste à disposer d'un système de télémesure fiable et précis. Pour chaque paramètre transmis par la télémesure, il est important de définir clairement les états nominaux et non nominaux ou les plages autorisées. Concernant ces dernières, il faut souvent effectuer plusieurs itérations : la première définit la plage prévue par les concepteurs, la seconde est fondée sur les résultats des essais d'intégration du satellite et la troisième découle des données mesurées lors de la recette en vol.

La compréhension du fonctionnement interne d'un système ne peut pas être meilleure que les données disponibles. La composition du format de télémesure s'avère donc déterminante. Tous les paramètres ne peuvent pas faire l'objet d'une transmission au même rythme. Par exemple, les signatures de pannes d'alimentation électrique sont de très courte durée (de l'ordre de quelques millisecondes), tandis que les signatures thermiques prennent généralement plus de temps pour se manifester (de quelques secondes à quelques dizaines de secondes au moins). Les données relatives à l'alimentation doivent donc faire l'objet de mesures plus fréquentes que celles des thermistances.

Les composants logiciels sont intrinsèquement sensibles aux effets de l'impact d'une particule isolée, connu sous le nom de SEE (Single Events Effects), provoqués par des particules énergétiques dans l'environnement spatial. De nombreuses recherches ont été publiées sur ces SEE, de même que des méthodes de conception permettant de les anticiper et de s'en prémunir. Pour commencer, il est judicieux d'intégrer des procédures de détection et de correction des erreurs

(DCE), qui contribueront à limiter l'impact des perturbations appelées SEU (Single Event Upsets), un type de SEE, sans toutefois éliminer complètement le risque que les SEU nuisent au fonctionnement du système. La conception d'un mécanisme de suivi régulier et de correction de l'état général des données de la mémoire embarquée peut aider à détecter et corriger les problèmes avant qu'ils ne surviennent. En outre, la télémesure de l'état d'actions autocorrectives (quantité, date et heure, emplacement dans la mémoire) peut grandement éclairer la connaissance de l'environnement spatial traversé, ainsi que la santé d'une unité de mémoire. Par exemple, des tentatives répétées de correction de la même adresse dans la mémoire peuvent révéler la présence d'une erreur de bit.

Les interventions en cas d'anomalies

Avant le lancement, des procédures opérationnelles doivent être rédigées, testées et utilisées dans des sessions de formation pour que chaque opérateur soit parfaitement préparé non seulement à ses tâches habituelles, mais également à réagir en cas de défaillances en orbite. Lors de la conception de procédures opérationnelles d'intervention, il est utile de définir des points de décision stratégiques au cours du processus. Pour cela, il convient d'étudier les étapes que les opérateurs sont autorisés à exécuter sans supervision et celles qui nécessitent des instructions des parties prenantes (entreprises, services de l'État, clients). Pour la formulation des points de décision, il est également utile de cerner les informations nécessaires au choix d'une voie de sortie et d'articuler clairement ces informations en termes objectifs. La modularité de la conception des procédures peut par ailleurs être judicieuse, de même que la mention des états d'entrée et de sortie attendus et la durée d'exécution anticipée de chaque module.

Concernant les systèmes en orbite terrestre basse, si une intervention humaine est nécessaire pour corriger une anomalie, elle doit avoir lieu pendant l'une des brèves périodes de contact radio. La planification d'étapes courtes et rapides, avec des points critiques clairs, est donc cruciale. Avant la perte de contact, le véhicule doit être placé dans un état sécurisé, c'est-à-dire un état présentant un risque faible ou inexistant de nuire encore à la mission ou de la perdre avant la prochaine période de visibilité. De même, les événements orbitaux à venir doivent être étudiés pour tous les régimes. Pour répondre à une anomalie d'un système d'alimentation énergétique, par exemple, il est important de disposer d'une bonne connaissance des prochaines périodes d'éclipse, le système devant être correctement chargé et configuré pour cela. Si un niveau de charge suffisant n'est pas possible, une procédure courante consiste à couper l'alimentation des dispositifs non essentiels afin de permettre un transit sécurisé pendant la durée de l'éclipse.

Malgré la bonne prise en compte de tous les facteurs mentionnés plus haut, une fois que la construction d'un satellite, son lancement et les opérations orbitales ont eu lieu, des échecs peuvent toujours se produire. Dans l'idéal, tous les scénarios de panne ont été bien analysés et des procédures opérationnelles détaillées ont été définies pour proposer des solutions appropriées. Dans la réalité, cependant, des pannes imprévues pour lesquelles aucune procédure n'a été anticipée se produisent régulièrement.

Lors d'une panne, le protocole d'intervention en cas d'anomalie prend effet. La première étape du protocole est une réponse immédiate reposant sur l'intervention d'un opérateur ou sur une séquence automatisée pour configurer le véhicule en mode sécurisé. La deuxième étape consiste à lancer une procédure de rappel des responsables et des experts des systèmes et sous-systèmes pour obtenir leur soutien, en fonction de la signature observée. La troisième étape vise à établir les responsabilités pour les actions à mener : définir qui est chargé des mesures d'intervention et de correction. Il peut s'agir de l'équipe des contrôleurs d'exploitation, d'experts de l'usine de production, du propriétaire du système, ou d'autres personnes qualifiées. Enfin, les impacts de l'anomalie doivent être communiqués. Il s'agit de déterminer leurs effets immédiats sur la mission, la durée prévue de la panne ou de l'impact, et de désigner les personnes à informer.

Une fois que le véhicule a été placé en mode sécurisé (c'est-à-dire configuré dans un état connu dans lequel il peut rester sans risque pendant une durée plus ou moins indéfinie, en l'absence d'une deuxième anomalie non corrélée à la première), les opérateurs peuvent commencer à compiler des informations sur la défaillance en attendant l'arrivée des experts. Parmi les renseignements utiles à rassembler, il faut établir la chronologie détaillée des événements ayant conduit à l'anomalie, un état détaillé de tous les systèmes du véhicule avant et après la panne et une chronologie des événements prévus à court terme, comme les périodes de perte de contact, une éclipse ou des rapprochements.

Les corrections et l'analyse des anomalies

L'équipe d'intervention doit être composée d'ingénieurs « système » au niveau satellite connaissant le fonctionnement d'ensemble du système, de spécialistes des sous-systèmes et des unités maîtrisant les subtilités du matériel et des logiciels de chaque unité, et de représentants des parties prenantes et des clients. Chaque exploitant de satellite dispose de ses propres processus d'intervention, de réparation et d'analyse. Cependant, les mesures correctives commencent généralement par la reconstitution des éléments du scénario par les ingénieurs « système » du satellite. Ces derniers collaborent ensuite avec les spécialistes

des différents sous-systèmes pour identifier les comportements anormaux dans tous les aspects d'un système avant la défaillance et postérieurement à celle-ci. En raison de la complexité des systèmes spatiaux et du très grand nombre de causes potentielles de défaillance, une cause racine précise ne peut souvent pas être décelée immédiatement. Les unités suspectes sont donc isolées et mises hors service en attendant de mener des enquêtes complémentaires. Lorsque des unités redondantes sont disponibles, le fonctionnement peut être totalement rétabli en procédant au basculement maîtrisé vers un système de secours, si cela n'a pas été fait automatiquement par le système embarqué de gestion des défaillances.

Il existe en général deux principaux degrés de gravité : les anomalies critiques et celles qui relèvent de la charge utile. Les anomalies critiques pour le bon fonctionnement et la sécurité des systèmes concernent les communications, l'alimentation en énergie et les sous-systèmes thermiques ou de contrôle d'attitude. Les anomalies liées à la charge utile peuvent perturber l'exécution de la mission prévue, mais ne nuisent pas nécessairement aux capacités du véhicule à commander ses sous-systèmes. Concernant les anomalies au niveau du véhicule et de sa sécurité, des interventions automatisées de résolution des pannes doivent être conçues et testées afin de rétablir rapidement la maîtrise sécurisée des systèmes concernés. Dans ces cas, l'équipe d'intervention doit d'abord chercher à confirmer que le logiciel de bord a correctement diagnostiqué la panne, exécuté la séquence corrective appropriée et isolé les unités suspectées. Quant aux anomalies non critiques, mais perturbant la mission, l'équipe d'intervention doit s'efforcer d'isoler la défaillance et d'étudier la meilleure solution pour rétablir le fonctionnement de la mission. Il faut parfois recourir à des unités redondantes ou opérer en mode dégradé en l'absence de redondance.

À un certain moment du processus d'intervention et de réparation, il sera indispensable de mener une analyse des causes racines de l'anomalie. En pratique, cependant, il est très rarement possible de cerner une cause racine unique. Plus souvent, le diagramme et les voies possibles sont réduits à plusieurs « causes racines probables » et plusieurs « causes racines peu probables ». Les autres causes éventuelles sont exonérées. Étant donné les difficultés de diagnostiquer les défaillances des composants à des centaines, voire des millions de kilomètres sur la base d'informations parcellaires, de nombreuses analyses des causes racines d'anomalies restent ouvertes, étayées par des causes probables, mais non tout à fait certaines.

Les diagrammes cause-effet

Fishbone diagrams provide a clear and concise way to visually track investigations

Les diagrammes cause-effet:

- Les causes environnementales (p. ex. : météorologie de l'espace, débris orbitaux).
- Les causes relatives à la conception, aux pièces ou à la fabrication (recherchées jusqu'au moindre élément).
- Les causes humaines. À mesure que chacun des aspects est vérifié, puis éliminé, les arêtes du diagramme peuvent être exclues. L'analyse profonde des causes racines a pour objectif de passer tout le diagramme en revue afin de ne conserver qu'une seule voie qui peut être jugée « cause racine déterminée. »

Indépendamment de la détermination absolue de la cause, les anomalies sont toujours riches d'enseignements susceptibles d'être appliqués à la mission en cours, ainsi qu'aux autres éléments d'une constellation et même dans tout le secteur des satellites. Par exemple, le dysfonctionnement du système de lubrification des roulements d'une roue de réaction équipant un véhicule en orbite basse peut alerter les utilisateurs sur des problèmes potentiels liés aux gyroscopes construits par le même fournisseur et utilisés sur un autre véhicule placé sur une orbite différente. Il est donc essentiel de répertorier toutes les informations sur les défaillances, de les cataloguer et de tenir ces informations à jour. De même, l'échange d'informations au sein de la communauté du secteur spatial est fondamental.

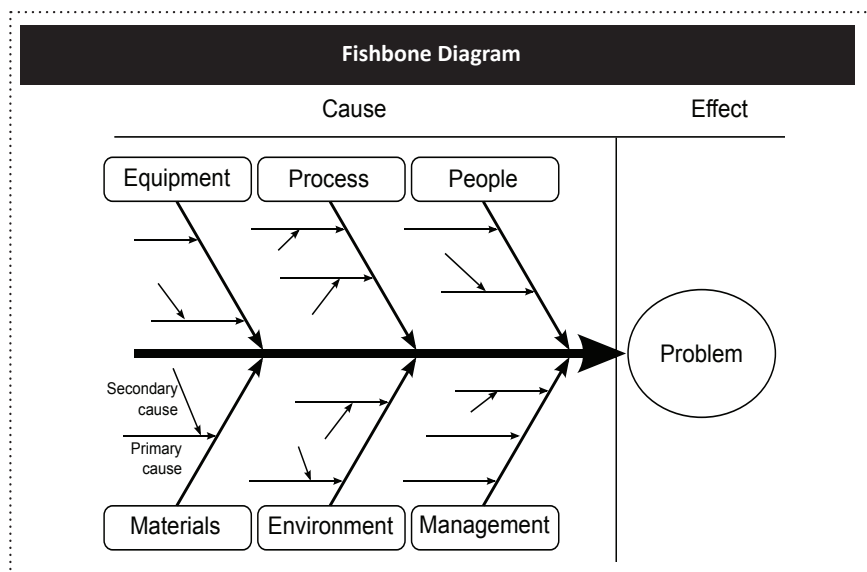


Figure 9 – Le diagramme cause-effet

Source: <https://commons.wikimedia.org>

En dernier lieu, il est important d'accepter le risque presque inévitable d'anomalies au cours de la durée de vie orbitale d'un engin spatial. Une préparation adaptée avant leur survenue et l'exploitation des enseignements tirés à posteriori peuvent limiter très fortement les incidences sur le déroulement de la mission.

LA FIN DE VIE DES SATELLITES

Lorsque les satellites atteignent la fin de leur vie opérationnelle et que leurs missions arrivent à leur terme, il est important pour les exploitants de les retirer de leur orbite opérationnelle de façon appropriée. Les régions les plus utilisées et les plus stratégiques des orbites autour de la Terre sont déjà encombrées, en grande partie à cause de satellites ou d'étages de lanceurs abandonnés dans ces zones d'activité intense. Des obligations spécifiques naissent de plus en plus des réglementations nationales, des contrats, des garanties et d'autres responsabilités imposées au cours de la phase finale d'une mission spatiale.

Le retrait de service

Le retrait responsable des satellites et des étages supérieurs de lanceurs à la fin de leur vie utile est essentiel. Tout engin spatial qui n'est pas retiré d'orbite convenablement risque de perturber les missions des satellites en activité, voire de créer des débris supplémentaires sur des orbites stratégiques et fréquemment utilisées. Pour maîtriser ces risques, le Comité de coordination inter-agences sur les débris spatiaux, qui réunit des experts gouvernementaux du monde entier, a rédigé des lignes directrices sur le retrait raisonné d'orbite des engins spatiaux destinées aux concepteurs de missions. Par ailleurs, 13 États participent à un travail d'élaboration de normes de retrait d'orbite des systèmes spatiaux organisé dans le cadre de l'ISO.

La passivation des lanceurs et des satellites

Pour minimiser le risque de création de débris dus à des désintégrations accidentelles après la fin de la mission, l'IADC recommande de neutraliser toutes les sources d'énergie embarquées d'un engin spatial ou d'un étage de lanceur, comme les restes d'ergols, et de placer les batteries, les réservoirs pressurisés, les systèmes d'autodestruction, les roues de réaction, les volants d'inertie et autres équipements en mode sécurisé quand ils ne sont plus nécessaires à la conduite de la mission ou au retrait du service. Ces opérations sont appelées passivation.

Elles doivent être prévues dès la conception des véhicules, comme en atteste l’explosion en orbite de plus de 40 modules propulsifs secondaires de l’étage supérieur du lanceur russe Proton bloc DM. Ces modules utilisés depuis les années 1980 permettent le contrôle d’attitude d’un étage dans les trois axes pendant la phase balistique du vol. Ils sont éjectés lors de l’allumage final du

International Orbital Debris Limitation Documents	
Entity	Document
IADC	IADC-02-01, Rev 1
ISO	ISO 26872, ISO 16699, ISO 16164
USA	US Government Orbital Debris Mitigation Standard Practices
NASA	NPR 8715.6A, NASA-STD-8719.14
Department of Defense (DoD)	DoD Space Policy Directive, 3100.10, AFI 91-217
FAA	Title 14, Code of Federal Regulations (CFR) Part 415.39
JAXA	JAXA JMR-003
CNES	MPM-50-00-12
European Space Agency (ESA)	European Code of Conduct for Space Debris Mitigation
Roscosmos	Space Technology Items General Requirements on Mitigation of Space Debris Population

Tableau 8 – Documents nationaux et internationaux sur la limitation des débris en orbite

bloc DM. En fonction des besoins de la mission, ces étages peuvent contenir jusqu’à 40 kilogrammes d’ergols non utilisés. Avec le temps, les effets thermiques du rayonnement solaire et d’autres facteurs ont provoqué l’explosion de dizaines de ces moteurs, qui ont libéré une multitude de débris en orbite. Les ingénieurs russes ont modifié la conception de ces modules sur les nouveaux modèles du bloc DM pour éviter les explosions accidentelles, mais ils sont toujours éjectés lors de certains lancements.

Selon les lignes directrices de l’IADC, la passivation doit être effectuée dès que possible sans exposer la charge utile du satellite à des risques inacceptables. Les lignes directrices prévoient les opérations suivantes:

- Les restes d'ergols et d'autres fluides, comme les fluides de pressurisation, doivent être éliminés au maximum, soit par combustion, soit par évacuation, afin d'empêcher toute désintégration accidentelle due à une surpression ou à une réaction chimique.
- La structure et la partie électrique des batteries doivent être conçues et fabriquées de façon à empêcher toute désintégration. L'augmentation de la pression dans les éléments des batteries et les assemblages peut être évitée par des moyens mécaniques, sauf dans les cas où ces mesures réduiraient de façon excessive la qualité et la sûreté de la mission. Au terme des opérations, les connexions de chargement des batteries doivent être désactivées.
- Les hautes pressions des réservoirs doivent être réduites jusqu'à un niveau garantissant l'impossibilité de toute désintégration. Les conceptions permettant une défaillance non catastrophique (fuite avant éclatement) sont utiles, mais ne suffisent pas à répondre à toutes les recommandations de passivation des systèmes de propulsion et de pressurisation. Les caloducs peuvent être maintenus en pression si la probabilité de rupture est estimée très faible.
- Les systèmes d'autodestruction doivent être étudiés pour ne pas provoquer de destruction non intentionnelle en cas de commande erronée, de montée en température ou de brouillage radiofréquence.
- L'alimentation des roues de réaction et des volants d'inertie doit être coupée pendant la phase de retrait de service.
- Toute autre forme d'énergie accumulée doit faire l'objet d'une évaluation et des mesures de réduction des risques adaptées doivent être exécutées.
- Les systèmes de télémesure et autres appareils émetteurs embarqués doivent être éteints.
- Toutes les communications doivent être neutralisées

Le retrait de service de l'orbite géostationnaire

La zone d'exploitation des orbites géostationnaires présente des particularités notables. Elle se définit comme la région située de 200 km en-deçà de l'altitude géostationnaire (35 786 km) à 200 km au-delà, et entre 15 degrés Nord et 15 degrés Sud. Le maintien d'un satellite en orbite géostationnaire impose une certaine consommation de carburant au fil du temps afin de conserver une position fixe par rapport à la Terre. Le retrait de service des satellites en orbite géostationnaire s'effectue en éloignant vers le haut l'engin de la région géostationnaire protégée. Cependant, la décision concernant le moment le plus opportun pour le retrait de service d'un de ces engins peut être un choix difficile.

En effet, les satellites géostationnaires se retrouvent souvent à court de carburant avant que leurs autres sous-systèmes n'atteignent leur fin de vie. L'exploitant doit donc souvent prendre la décision difficile de retirer un satellite en parfait état de fonctionnement générant des dizaines de millions de dollars de recettes annuelles, et dont le seul défaut est un faible niveau de carburant. Cette décision devient aujourd'hui plus complexe puisque le recours à de nouveaux terminaux de poursuite à faible coût permet maintenant aux opérateurs de poursuivre l'exploitation de leurs satellites depuis une orbite inclinée. Dans cette configuration, le carburant est consommé bien plus lentement, puisque le satellite dérive en inclinaison, ce qui augmente sa durée de vie utile. Cependant, les autres sous-systèmes du satellite fonctionnant au-delà de la durée prévue peuvent connaître des pannes pendant le fonctionnement en orbite inclinée. Le satellite se retrouve alors sur une orbite susceptible d'encombrer la région géostationnaire protégée.

L'IADC recommande de remplir les deux conditions suivantes à la fin de la phase de retrait de service pour décrire une orbite restant au-delà de la région géostationnaire

1. Augmentation minimale de l'altitude du :
 $235 \text{ km} + (1000 \times \text{CR} \times \text{A/m})$
 où CR coefficient de pression solaire
 A/m is rapport entre surface exposée du véhicule
 et masse sèche ($\text{m}^2 \text{ kg}^{-1}$)
 235 km is et de l'abaissement maximal d'un engin spatial
 dû aux perturbations luni-solaires et d'origine
 géopotentielle (35 km)
2. Excentricité inférieure ou égale à 0,003

Pour minimiser les risques de création de débris, un engin placé en orbite géostationnaire ne doit pas être séparé de son système de propulsion. Lorsque des raisons inévitables imposent une séparation, le système de propulsion doit être conçu pour être abandonné sur une orbite extérieure à la région géostationnaire protégée et y rester indéfiniment. Qu'il soit destiné à être séparé ou pas, le système de propulsion doit être muni d'un dispositif de passivation. Par ailleurs, les exploitants d'engins spatiaux doivent concevoir les missions de façon à éviter d'abandonner des étages de lanceurs dans la région géostationnaire. La plupart des exploitants de missions en orbite géostationnaire exigent des constructeurs une conception destinée à dépasser la durée de la mission d'un an afin que le satellite puisse être déplacé au-delà de l'orbite géostationnaire et abandonné à la dérive dans l'espace lointain.

La problématique du passage à travers l'orbite basse

Certains types de lancements abandonnent des éléments de lanceurs ou d'autres fragments qui passent à travers l'orbite basse. Cela est souvent le cas pour placer un satellite géostationnaire sur une orbite de transfert géostationnaire, un satellite de navigation sur une orbite moyenne ou encore un satellite sur une orbite très elliptique, de type « Molniya ». Lorsque cela est possible, les engins spatiaux ou les étages qui terminent leurs phases opérationnelles sur des trajectoires traversant l'orbite basse ou susceptible de perturber les activités dans cette zone doivent être désorbités (la rentrée balistique directe étant à privilégier). À défaut, lorsque les conditions le permettent, ils peuvent être manœuvrés en direction d'une orbite où ils auront une durée de vie limitée. La récupération est également une possibilité.

Selon l'IADC, un engin spatial ou un étage orbital devrait être laissé sur une orbite où le freinage atmosphérique limitera sa durée de vie orbitale au terme de sa mission à 25 ans maximum, en se fondant sur des projections nominales communément acceptées de l'activité solaire. Dans les cas de retrait de service par rentrée atmosphérique, les débris susceptibles d'atteindre la surface terrestre ne doivent pas présenter de risque exagéré pour les personnes ni les biens. Pour minimiser le risque que des débris parviennent au sol, il est conseillé de concevoir les satellites de telle sorte qu'ils se désintègrent totalement au cours de la phase de rentrée. Si cela n'est pas possible et si le danger de faire des victimes est supérieur à 1 sur 10 000, la rentrée contrôlée s'impose. Les débris restants doivent alors être dirigés vers des régions inhabitées, par exemple de vastes zones océaniques. Par ailleurs, la pollution des sols provoquée par des substances radioactives ou toxiques, ou encore tout autre polluant issu de matériaux embarqués doit être évitée ou du moins minimisée afin d'être potentiellement tolérée.

Avant toute rentrée contrôlée d'un engin spatial ou d'un étage orbital, l'exploitant du système doit informer les autorités compétentes en matière de gestion de la circulation aérienne et maritime de la date prévisible de la rentrée et de la trajectoire de l'objet, ainsi que de la surface au sol concernée

La rentrée atmosphérique et l'évaluation des risques

Les concepteurs d'un engin spatial doivent envisager ce qu'il va devenir au terme de sa mission. Concernant les satellites fonctionnant en orbite basse, le freinage atmosphérique provoquera très probablement la rentrée du véhicule dans l'atmosphère. Les objets se désintègrent en traversant l'atmosphère, mais certains débris peuvent résister à la chaleur occasionnée et atteindre le sol en causant potentiellement des dégâts. Il est malheureusement très difficile de

prévoir exactement le lieu d'impact, puisque la densité atmosphérique évolue en permanence. Les opérateurs de satellites sont donc encouragés à concevoir des engins susceptibles de se consumer entièrement au cours de la rentrée atmosphérique.

Dans les cas où des débris risquent de résister à la rentrée et de présenter un risque inacceptable de faire des victimes, les contrôleurs de la mission doivent effectuer une rentrée maîtrisée destinée à répartir les débris dans des espaces inhabités.

La rentrée atmosphérique

Au cours de la rentrée, des phénomènes de friction et de compression génèrent des températures extrêmement élevées, le satellite traversant l'atmosphère à plus de 29 000 km/h. Cette chaleur phénoménale peut faire fondre et désintégrer le véhicule tout entier. Cependant, si un composant n'atteint pas sa température de fusion, il peut résister aux forces exercées

pendant la rentrée et atteindre le sol. Outre la chaleur et la pression, un engin spatial subit d'importantes forces de décélération. Ces charges peuvent dépasser 10 g, soit dix fois l'accélération de la pesanteur à la surface terrestre. Associées aux températures extrêmes, elles peuvent entraîner la rupture structurelle d'un engin. Les composants brisés poursuivront leur course en ralentissant et, en fonction de la densité de l'atmosphère dans la région de rentrée, ils peuvent avoir une vitesse sol faible et littéralement tomber du ciel. L'engin disloqué atteint le sol à des vitesses relativement faibles, mais il constitue toujours un danger pour les personnes et les biens au sol. Quant à l'exploitant, il est juridiquement responsable de tout dégât potentiel provoqué par les débris.

La prévision de la zone précise où les débris d'un satellite rentrant de façon aléatoire dans l'atmosphère toucheront le sol est une entreprise difficile. En effet, le freinage des objets est directement proportionnel à la densité atmosphérique. Or, celle-ci évolue énormément à haute altitude. Par ailleurs, elle est fortement soumise aux effets de l'activité solaire. Il est possible de prévoir la date du début de la rentrée avec une marge d'erreur de 10 %. Cependant, la moindre minute

Dans les cas où des débris risquent de résister à la rentrée et de présenter un risque inacceptable de faire des victimes, les contrôleurs de la mission doivent effectuer une rentrée maîtrisée destinée à répartir les débris dans des espaces inhabités.

End-of-Life Disposal Actions				
Disposal Action	Subsynchronous GTO	Supersynchronous GTO	MEO Navigation Satellite Orbits	Molniya
25-Year Decay	Lower perigee to ~ 200 km	Initial perigee ~ 200 km	Not recommended due to large Delta-V (DV) or change in velocity required	Not studied, but lowering perigee would require least DV
Disposal Orbit	Between 2500 km and GEO-500 km. Launch Vehicle Upper Stages should reach GEO-500 km in less than 25 years.	Not recommended	TBC: 1. Minimum long-term perigee of 2000 km, apogee below MEO. 2. Perigee 500 km above MEO or nearby operational region and $e < 0.003$; RAAN and argument of perigee selected for stability	Set initial perigee of disposal orbit at 3000 km
Direct Reentry	Broad ocean area impact or other safe zone	Not studied, but similar to Sub-synchronous GTO case	Not recommended due to large DV required	Broad ocean area impact or other safe zone

Tableau 9 – Mesures de retrait de service en fin de vie des satellites

d'erreur temporelle représente des centaines de kilomètres de surface, étant donné les vitesses très élevées des objets.

De 10 à 40 % de la masse d'un satellite résistent à la rentrée, en fonction de ses dimensions, de sa forme, de sa masse et de sa composition. Les dimensions de la zone d'impact peuvent être anticipées, mais il est très difficile de déterminer précisément son périmètre au sol. La taille de l'aire d'impact peut être calculée en estimant l'altitude de la désintégration du satellite ou du vaisseau spatial, puis en modélisant la masse et les propriétés aérodynamiques des débris restants. L'extension en longueur de la zone d'impact peut varier de 185 à 2 000 km environ, en fonction de la complexité et des caractéristiques de l'objet. Sa largeur peut être influencée par le vent, les objets les plus légers présentant le plus grand degré d'incertitude. Les largeurs courantes se situent entre 20 et 40 km.

Les statistiques de risques lors de la rentrée

Les dangers pour les biens et les personnes liés à la rentrée de débris ne sont pas à prendre à la légère. Pourtant, à ce jour, une seule personne a affirmé avoir été

heurtée par un débris spatial retombé sur Terre ; il s'agissait d'un objet léger et la victime n'a pas été blessée. Au cours des 50 dernières années, plus de 5 400 tonnes de matériaux auraient résisté à la rentrée atmosphérique, mais aucun décès n'est à déplorer. Le risque pour une personne d'être touché par un objet spatial retombant au sol a même été évalué à moins d'un sur mille milliards.

Le calcul du risque de rentrée

Le droit international ne propose aucune définition du risque inacceptable pour la sécurité en cas de rentrée atmosphérique. Les Lignes directrices relatives à la réduction des débris spatiaux de l'Organisation des Nations Unies laissent les autorités nationales libres de définir l'acceptabilité du risque. Le Comité de coordination inter-agences sur les débris spatiaux distingue deux orientations à respecter. Premièrement, pour minimiser l'accumulation des débris en orbite, il recommande aux missions satellitaires de placer les véhicules sur une orbite conduisant à leur rentrée dans un délai de 25 ans. Environ 80 % des étages supérieurs des lanceurs respectent actuellement cette règle, tandis que seuls 60 % des satellites sont conçus pour abaisser leur orbite afin de provoquer une rentrée dans les 25 ans. Si la conformité n'est pas parfaite, la plupart des grandes puissances spatiales approuvent la règle des 25 ans et prennent des mesures pour y adhérer de plus en plus étroitement.

Outre la règle des 25 ans, l'IADC préconise de contrôler la rentrée atmosphérique dès qu'un satellite présente un risque supérieur à une chance sur 10 000 de faire une victime. Pour un débris résistant à la rentrée, la zone d'impact létale est l'aire d'impact moyenne du débris additionnée d'un facteur pour la section transversale d'une personne debout. La zone létale totale en cas de rentrée est composée de la somme de toutes les zones létales de chacun des débris résistant à la traversée de l'atmosphère. Le nombre total de morts anticipé est égal à la zone létale totale multipliée par la densité de population moyenne concernant l'orbite en cause. Différents modèles coexistent pour calculer la probabilité que des éléments déterminés d'un satellite puissent résister à la rentrée, notamment le logiciel d'évaluation des débris de la NASA ou son Outil d'analyse de la résistance des objets lors de leur rentrée atmosphérique, de plus haute fiabilité.

La conception de la fin de vie

Le principe Design for Demise est une méthode de conception des satellites visant à ce que chaque composant soit complètement détruit par la chaleur occasionnée durant la rentrée atmosphérique. Les exploitants de satellites peuvent ainsi éviter d'avoir à mener une rentrée contrôlée, ce qui peut allonger la durée de vie de la

mission et réduire les coûts de développement et de soutien au sol. Cette conception est extrêmement utile pour garantir la conformité face au seuil de risque de 1 sur 10 000. L'ISO rédige des normes (ISO 27875:2010) qui peuvent être appliquées aux étapes de planification, de conception et de revue du développement d'un satellite. Cela permet d'évaluer, de limiter et de maîtriser les risques potentiels de la rentrée atmosphérique des engins spatiaux et des étages orbitaux des lanceurs.

Les prévisions de rentrée

La rentrée de chaque engin spatial est suivie par des systèmes de surveillance de l'espace répartis sur l'ensemble de la planète. Le réseau de surveillance de l'espace des États-Unis est le plus grand d'entre eux. Il utilise des radars et des capteurs optiques implantés sur différents sites destinés à la poursuite des objets spatiaux dans le monde entier. Ces capteurs peuvent être exploités pour déterminer l'orbite d'un objet avant sa rentrée. Associées à des données sur l'évolution de la densité atmosphérique, ces informations permettent de calculer une prévision de rentrée. Le commandement USSTRATCOM échange des informations de poursuite avec d'autres pays, ainsi qu'avec des exploitants privés de satellites, grâce à son catalogue de satellites et au site Web public www.space-track.org. L'USSTRATCOM publie des messages de prévision des impacts à différents intervalles, notamment : J-4, J-3, J-2, J-1 jour, H-12, H-6 et H-2 heures. Les prévisions de rentrée doivent être constamment réactualisées à mesure qu'un satellite se rapproche de l'atmosphère.

Même les prévisions effectuées quelques heures seulement avant la rentrée peuvent estimer une aire d'impact erronée de plusieurs centaines, voire plusieurs milliers de kilomètres. Par conséquent, même lorsqu'un grand volume de débris est susceptible de résister à la rentrée atmosphérique, d'un point de vue logistique, il n'est pas réaliste de faire évacuer efficacement les zones d'impact potentielles.

La planification d'une rentrée contrôlée

Si des éléments importants d'un satellite risquent de résister à la rentrée et de dépasser le seuil de risque mortel de 1 sur 10 000, il est essentiel que le concepteur du satellite prévoie une rentrée contrôlée au cours de laquelle les débris restants seront dispersés sur une zone océanique non peuplée. Toute rentrée contrôlée exige de concevoir des manœuvres destinées à éviter soigneusement d'éventuelles collisions avec des débris orbitaux ou d'autres satellites. Des quantités suffisantes de carburants doivent être conservées dans les réservoirs en vue d'effectuer les dernières manœuvres de changement d'orbite. Enfin, les équipes au sol doivent être disponibles afin de coordonner, conduire et surveiller les dernières manœuvres du satellite.

LISTE DES ABRÉVIATIONS

ADR	Retrait actif des débris (Active Debris Removal)
AEB	Agence spatiale brésilienne
AIEA	Agence internationale de l'énergie atomique
APRSAF	Forum régional Asie-Pacifique des agences spatiales (Asia-Pacific Regional Space Agency Forum)
APSCC	Conseil Asie-Pacifique des communications par satellite (Asia-Pacific Satellite Communications Council)
ASI	Agence spatiale italienne
BELSPO	Bureau de la Politique scientifique fédérale (Belgique)
SRS	Service de radiodiffusion par satellite
CA	Évaluation opérationnelle des rapprochements (Conjunction Assessment)
CCL	Liste de contrôle commerciale (Commercial Control List, États-Unis)
CCSDS	Comité consultatif pour les systèmes de données spatiales (Consultative Committee for Space Data Systems)
CD	Conférence du désarmement (Conference on Disarmament)
CDM	Message de données de conjonction (Conjunction Data Message)
CFR	Recueil des règlements fédéraux (Code of Federal Regulations, États-Unis)
CNES	Centre national d'études spatiales
CNSA	Administration spatiale nationale chinoise
CONAE	Commission nationale des activités spatiales (Argentine)
CONIDA	Comité national pour la recherche et le développement dans le domaine aérospatial (Pérou)
COPUOS	Comité des Nations Unies des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique
ASC	Agence spatiale canadienne
CSF	Commercial Spaceflight Federation
COSPAR	Comité de la recherche spatiale
DDTC	Directorate of Defense Trade Controls (États-Unis)
DLR	Agence aérospatiale allemande
DoD	Département de la défense des États-Unis (United States Department of Defense)
Δv	Incrément de vitesse
EARSC	European Association of Remote Sensing Companies
DCE	Procédures de détection et de correction des erreurs
ESA	Agence spatiale européenne
ESOA	European, Middle East, and Africa Satellite Operators Association
UE	Union européenne

EUMETSAT	Organisation européenne pour l'exploitation de satellites météorologiques
FAA	Federal Aviation Administration (États-Unis)
FCC	Commission fédérale des communications (Federal Communications Commission, États-Unis)
FMEA	Analyse des types de défaillance et de leurs effets (Failure Mode and Effects Analysis)
SFS	Service fixe par satellite
GEO	Orbite géostationnaire (Geostationary Earth Orbit)
GEO	Groupe sur l'observation de la terre (Group on Earth Observations)
GNSS	Système mondial de navigation par satellite (Global Navigation Satellite Systems)
GPS	Système mondial de positionnement (Global Positioning System)
GTO	Orbite de transfert d'un satellite géostationnaire (Geosynchronous Transfer Orbit)
HAC	High Accuracy Catalog
HEO	Orbite terrestre haute (high Earth orbit)
I&T	Intégration et essais (Integration and Test)
IAC	Congrès de la Fédération internationale d'astronautique, Congrès international d'astronautique (International Astronautical Congress)
IADC	Comité de coordination inter-agences sur les débris spatiaux
FIA	Fédération internationale d'astronautique
IARU	Union internationale des radio-amateurs
OACI	Organisation de l'aviation civile internationale
ICG	Comité international sur les systèmes mondiaux de navigation par satellite (International Committee on Global Navigation Satellite Systems)
CIJ	Cour internationale de Justice
IISL	Institut international de droit spatial (International Institute of Space Law)
IoT	Internet des objets (Internet of Things)
ISO	Organisation internationale de normalisation
ITAR	International Traffic in Arms Regulations (États-Unis)
UIT	Union internationale des télécommunications
UIT-R	Secteur des radiocommunications de l'UIT
UIT-T	Secteur de la normalisation des télécommunications de l'UIT
JAXA	Agence japonaise d'exploration aérospatiale

JSpOC	Joint Space Operations Center (États-Unis)
KazCosmos	Agence spatiale du Kazakhstan
LBA	Organisme de supervision de l'aviation (Allemagne)
LEO	Orbite terrestre basse (Low Earth Orbit)
LSC	Sous-Comité juridique (COPUOS, ONU)
MEO	Orbite terrestre moyenne (Medium Earth Orbit)
MEXT	Ministère de l'Éducation, de la Culture, des Sports, des Sciences et des Techniques (Japon)
MIFR	Fichier de référence international des fréquences (Master International Frequency Register)
MSIP	Ministère de la Science, des Technologies de l'information et de la communication et de la Planification (République de Corée)
MSS	Services mobiles par satellite (Mobile Satellite Services)
RCTM	Régime de contrôle de la technologie des missiles
NASA	Administration nationale de l'aéronautique et de l'espace (National Aeronautics and Space Administration, États-Unis)
NASB	Académie des sciences du Bélarus
ONG	Organisation non gouvernementale
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration (États-Unis)
NOTAM	Avis aux navigateurs aériens (Notice to Airmen)
NSAU	Agence spatiale nationale d'Ukraine
NOSA	Agence spatiale norvégienne (Norwegian Space Agency, anciennement Norwegian Space Center, NSC)
NTIA	National Telecommunications and Information Administration (États-Unis)
OD	Détermination d'une orbite (Orbit Determination)
Ofcom	Office des communications (Office of Communications, Royaume-Uni)
OGC	Open Geospatial Consortium
OOSA	Bureau des affaires spatiales (Nations Unies)
OST	Traité sur l'espace extra-atmosphérique (Outer Space Treaty)
PAROS	Prévention d'une course aux armements dans l'espace (Prevention of an arms race in outer space)
Pc	Probabilité de collision
CPA	Cour permanente d'arbitrage
PNT	Détermination de la position, navigation et synchronisation (Position, Navigation and Timing)
R&D	Recherche-développement

RAAN	Ascension droite du nœud ascendant (right ascension of ascending node)
REACH	Enregistrement, évaluation, autorisation et restriction des substances chimiques (UE)
RF	Radiofréquence
REG	Convention sur l'immatriculation des objets lancés dans l'espace extra-atmosphérique
RHU	Générateur thermique à radio-isotopes
Roscosmos	Entreprise d'État pour les activités spatiales (Russie)
RTG	Générateur thermoélectrique à radio-isotopes
SDA	Space Data Association
SEE	Effet d'une particule isolée
SEU	Perturbation par une particule isolée
SFCG	Groupe de coordination des fréquences spatiales (Space Frequency Coordination Group)
SIA	Satellite Industry Association
SLR	Télémétrie laser sur satellite (Satellite Laser Ranging)
PME	Petites et moyennes entreprises
SSA	Connaissance de l'environnement spatial (Space Situational Awareness)
SSN	Réseau de surveillance de l'espace (Space Surveillance Network, États-Unis)
STIM	Sciences, technologie, ingénierie et mathématiques
STI	Science, technologie et innovation
STM	Gestion du trafic spatial (Space Traffic Management)
STSC	Sous-Comité scientifique et technique (COPUOS, ONU)
SUPARCO	Commission de recherche sur l'espace et la haute atmosphère (Space and Upper Atmosphere Research Commission, Pakistan)
SWPC	Centre de prévision de la météorologie de l'espace (Space Weather Prediction Center, NOAA, États-Unis)
TBC	À étudier
TBD	À déterminer
TCBM	Mesure de transparence et de confiance (Transparency and Confidence-Building Measure)
TRL	Indice d'évaluation du degré de maturité d'une technologie (Technology Readiness Level)
UAE	Émirats arabes unis
UAS	Système de véhicules aé

SECURE WORLD FOUNDATION

MANUEL DES NOUVEAUX ACTEURS DU SECTEUR SPATIAL

Le secteur spatial évolue à un rythme accéléré. Chaque année, des organisations sans cesse plus nombreuses et plus diverses se lancent dans l'aventure spatiale avec des programmes toujours plus innovants et plus ambitieux, à la pointe de la technologie. Elles rejoignent les plus de 70 États, sociétés commerciales et organisations internationales exploitant actuellement pas moins de 1 500 satellites en orbite terrestre.

Les perspectives sont prometteuses. En effet, avec des délais de préparation réduits et des besoins d'investissements et d'effectifs moindres, l'espace devient de plus en plus accessible. Cependant, ces évolutions et cette croissance rapides doivent composer avec un environnement juridique, administratif et technique très complexe.

Les nouveaux acteurs du secteur spatial doivent consentir de nombreux efforts d'adaptation et d'apprentissage. Leurs demandes peuvent alors peser sur les institutions et les cadres de gouvernance. En outre, la difficulté et la fragilité inhérentes à l'environnement spatial peuvent transformer le moindre incident en véritable catastrophe planétaire.

Étant donné les immenses possibilités de croissance et d'innovation, mais également les défis multiples et interdépendants qui s'imposent aux organisations dans ce domaine, Secure World Foundation propose son Manuel des nouveaux acteurs du secteur spatial. Destiné autant au secteur public qu'aux entreprises privées, cet ouvrage a vocation à faciliter la conception et la conduite des programmes spatiaux dans une optique de sécurité et de durabilité.



2017 EDICIÓN