



HAL
open science

Gérer en commun un problème complexe d'échelle planétaire? Le cas des débris spatiaux.

Camille Toussaint

► **To cite this version:**

Camille Toussaint. Gérer en commun un problème complexe d'échelle planétaire? Le cas des débris spatiaux.. Gestion et management. Institut Polytechnique de Paris, 2022. Français. NNT : 2022IP-PAX120 . tel-04106660

HAL Id: tel-04106660

<https://theses.hal.science/tel-04106660v1>

Submitted on 25 May 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Gérer en commun un problème complexe d'échelle planétaire ? Le cas des débris spatiaux

Thèse de doctorat de l'Institut Polytechnique de Paris
préparée à l'École polytechnique

École doctorale n°626
Institut Polytechnique de Paris (ED IP Paris)

Spécialité de doctorat : Sciences de gestion

Thèse présentée et soutenue à Paris, le 8 décembre 2022, par

Camille Toussaint

Composition du Jury :

| | |
|---|--------------------|
| Franck AGGERI Professeur, MINES ParisTech, PSL University (CGS - i3) | Président |
| Aurélien ACQUIER Professeur, ESCP Business School | Rapporteur |
| Christina GARSTEN Professeure, Uppsala University, SCAS, SCORE, Stockholm University, Stockholm School of Economics | Rapporteure |
| Diane-Laure ARJALIÈS Associate Professor, Ivey Business School, Western University | Examinatrice |
| Nathalie RAULET-CROSET Professeure des Universités, IAE de Paris, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne (GREGOR) | Examinatrice |
| Hervé DUMEZ Directeur de recherche CNRS, École polytechnique (i3-CRG) | Directeur de thèse |

Titre : Gérer en commun un problème complexe d'échelle planétaire ? Le cas des débris spatiaux

Mots clés : grand challenges ; communs globaux ; gouvernance polycentrique ; émergence de marché ; commoning ; espace durable

Résumé : Les problèmes complexes à l'échelle planétaire ou *grand challenges* présentent une difficulté dans l'organisation de l'action collective, compte tenu de leur complexité, de leur multidimensionnalité et de l'hétérogénéité de leurs parties prenantes dont les intérêts divergent. Cette thèse s'interroge sur les modes de gestion mis en œuvre par les acteurs impliqués pour faire face à ce type de situation empirique.

Pour répondre à cette question, la recherche menée se concentre sur le cas des débris spatiaux, dont la multiplication sur les orbites terrestres menace aujourd'hui la poursuite des activités spatiales. L'utilisation d'un design de recherche flexible est nécessaire pour étudier ce cas singulier et complexe, selon différents niveaux d'analyse et à travers plusieurs approches méthodologiques. La recherche s'appuie sur l'élaboration de scénarios de gestion, l'analyse de discours et des études de cas sur un secteur d'activité, une firme ou un événement scientifique récurrent. L'articulation des méthodes de narration et de description permet de mettre en avant différentes dimensions du problème, qui peut être envisagé sous l'angle de la régulation, du marché, ou des communs.

L'analyse successive de ces trois modes de gestion fait apparaître plusieurs ensembles

de résultats. Premièrement, la gestion du problème repose sur la mise en place d'un système polycentrique organisé autour de plusieurs centres de régulation coordonnés entre eux par la circulation des règles et des individus. Deuxièmement, la prolifération des débris spatiaux suscite l'émergence d'un nouveau marché d'intérêt collectif, qui entraîne la mise en place de différentes stratégies d'acteurs et un jeu dynamique entre plusieurs catégories de marché. Troisièmement, la communauté d'experts, appelés commoneurs globaux en raison de la relation affective qu'ils entretiennent au problème, joue un rôle central notamment dans la production de connaissance et dans sa diffusion. Enfin, cette connaissance est au cœur de l'organisation de l'action collective et vise à orienter le comportement des acteurs, tout en prenant des formes variées. L'ensemble de ces résultats permet d'identifier le commoning global comme un nouveau mode de gestion des problèmes complexes à l'échelle planétaire.

La thèse vient enrichir la théorie des communs en précisant les modes de coordination du polycentrisme, et en transposant la notion de commoning à l'échelle globale ; elle contribue aux recherches sur les *grand challenges* en soulignant l'importance de la dimension affective des individus impliqués.

Title: Managing collectively a complex problem on a planetary scale? The case of space debris.

Keywords: grand challenges; global commons; polycentric governance; market fashioning; commoning; space sustainability

Abstract: Complex problems on a planetary scale, or grand challenges, present a difficulty in organizing collective action, given their complexity, their multidimensionality and the heterogeneity of stakeholders, whose interests diverge. This thesis questions the way involved actors deal with this type of empirical situation.

To answer this question, the research carried out focuses on the case of space debris, whose proliferation on Earth's orbits threatens space activities. The use of a flexible research design is necessary to study this unique and complex case, along different levels of analysis and by means of complementary methodological approaches. Methods such as management scenarios, discourse analysis and case studies of a sector, a firm, or a recurring scientific event have been employed. The articulation of narration and description helps to highlight various dimensions of the problem which may be treated from the point of view of regulation, the market, or the common goods.

These dimensions have been explored throughout the thesis and reveal several sets of results. First, the management of the problem is based on the establishment of a

polycentric regulation system, organized around several centers, which are producing a wide array of rules and are driven by the circulation of norms and individuals. Secondly, the proliferation of space debris is giving rise to the emergence of a new market for collective concerns. This is leading to the implementation of different strategies by players as well as a dynamic interplay between several market categories. Third, the community of experts, called global commoners because of their emotionally driven relationship with the problem, plays a central role. This is particularly the case in the production of knowledge and its consequent diffusion. Finally, this knowledge is at the heart of the organization of collective action and aims to guide the behavior of actors in various ways. These results have made it possible to identify global commoning as a new way of managing complex problems on a planetary scale.

This doctoral work contributes to the theory of the commons by specifying the modes of coordination of polycentrism and by transposing the notion of commoning to a global scale; it contributes to research on grand challenges by emphasizing the importance of individuals' emotions.

Remerciements

Cette thèse est le fruit d'un cheminement de plusieurs années et je souhaite remercier ici toutes celles et ceux qui ont participé à sa réalisation, qui m'ont soutenue et aidée tout au long de ce travail de longue haleine.

Mes premiers remerciements sont naturellement destinés à Hervé Dumez, qui a dirigé cette thèse et accompagné mes premiers pas dans le monde de la recherche. Son soutien attentif, sa présence infaillible et ses encouragements constants ont contribué à faire de ce doctorat un moment d'apprentissage et de formation extrêmement privilégié. Je le remercie pour la profondeur de l'échange intellectuel qu'il m'a offert d'entretenir avec lui au cours de ces trois années. Il m'a enseigné la joie du terrain, l'humour nécessaire pour supporter les moments où l'on tourne en rond, l'importance de célébrer chaque réussite. Être sa doctorante a été une chance et un honneur.

Je tiens à remercier Franck Aggeri et Nathalie Raulet-Croset pour le temps qu'ils m'ont consacré lors de la mini-soutenance et pour leurs retours précieux. Je remercie ensuite Aurélien Acquier, Christina Garsten, Franck Aggeri, Diane-Laure Arjaliès et Nathalie Raulet-Croset qui me font le grand honneur de composer le jury de cette thèse.

Je remercie tous les membres de la communauté des débris spatiaux et plus largement toutes les personnes ayant accepté de nous rencontrer. Leur témoignage et leur expertise constituent la matière première de cette recherche.

Merci à l'École polytechnique, qui a financé cette thèse et qui m'a également offert l'opportunité d'enseigner au sein du département MIE en tant que monitrice pendant trois ans.

Ce doctorat a été réalisé au sein du Centre de Recherche en Gestion de l'École polytechnique, laboratoire de recherche unique et lieu de développement privilégié pour les doctorants. Je tiens d'abord à remercier toutes les personnes qui ont contribué à faciliter le déroulement de cette thèse, Franck Guimonet, Marie-Claude Cléon, Catherine Gayda et Carine Robert. Un grand merci en particulier à Michèle Breton, pour le soutien et tout le chocolat.

J'adresse ensuite tous mes remerciements à Cécile Chamaret, Florence Charue-Duboc et Véronique Steyer qui toutes trois n'ont cessé de m'accompagner de leur aide et de leurs conseils. Je remercie également Nicolas Mottis pour la confiance qu'il m'a témoignée en me proposant d'intervenir au sein de l'Executive Master ; Haruki Sawamura pour son aide dans ma recherche de terrain au Japon, ainsi que Akil Amiraly, Élodie Gigout, Sihem Jouini, Benjamin Lehiany, Julie Mayer, Christophe Midler, Étienne Minvielle, et Romaric Servajean-Hilst qui m'ont tous apporté leur aide à un moment ou à un autre de mon doctorat. J'ai également une pensée particulière pour Rémi Maniak.

Le CRG est aussi un collectif de doctorants. Un immense merci à mon amie Olfa Chelbi, dont la bonne humeur inébranlable et le formidable éclat de rire ont rendu cette traversée des plus agréables. Je tiens ensuite à remercier Sandra Renou et Matthieu Battistelli de m'avoir laissé avancer dans leur sillage. Je salue enfin tous les doctorants et anciens doctorants que j'ai eu le plaisir de rencontrer et de côtoyer, Vincent Bouchet, Robin Charbonnier, Laure Colin, Farah Doumit, Anne-Sophie Dubey, Lorenzo Fioni, Lucie Liversain, Joël Perez, Estelle Peyrard, Pierre Poinignon, Estelle Rémondeau, Louis Vuarin.

Remerciements

Cette thèse a été ponctuée de moments forts. Le programme doctoral CEFAG reste un souvenir marquant, d'abord pour la parenthèse pleine d'embruns offerte au cours d'une longue année de pandémie, ensuite pour la qualité de la formation et des échanges avec les intervenants, enfin pour la rencontre avec les doctorants de la « promo covid ». Merci à la FNEGE et aux personnels administratifs. Un grand merci à Géraldine Schmidt ainsi qu'à Hervé Laroche, qui suit mon parcours depuis les commencements avec une grande bienveillance. Je salue particulièrement Michelle van Weeren et Alice Schoonejans : à nos discussions et à toutes les collaborations à venir.

Ensuite, il y a eu New York et Columbia University, un séjour rendu possible grâce au programme Alliance et à toute son équipe. Je tiens à remercier Emmanuel Kattan pour son accueil chaleureux à New York et Abdibasid Ali pour le suivi administratif. Merci à Scott Barrett, à l'équipe de la School of International and Public Affairs et à tous les doctorants pour leur accueil. Je tiens également à remercier très sincèrement Bruce Kogut, pour s'être rendu si disponible au cours de mon séjour et pour m'avoir ouvert les portes de son séminaire de stratégie. Merci également à tous les doctorants de la Columbia Business School et notamment Angela Ryu. Une pensée enfin pour le petit monde de la Hungarian Pastry Shop, sur Amsterdam Avenue, où ont été écrites les toutes premières pages de cette thèse.

Il me faut aussi évoquer l'avant et l'après. Merci aux professeurs du Master de recherche Gestion et Dynamiques de Organisations, qui m'ont initiée aux arcanes de la recherche en gestion et m'ont préparée à la thèse, et à mes camarades Olivier et Benjamin. Merci à Antoine Souchaud qui me permet d'envisager sereinement la suite.

Merci à mes proches et mes amis qui m'ont accompagnée au cours de ces trois années : Marguerite, Marc, Stefano, Gabrielle, Tom et Dorian. Merci à Kristin et Mathias pour leur soutien affectueux depuis Hambourg. Merci à mes chers grands-parents, Claude et Simone, à qui je dédie cette thèse, pour leur fierté et leur exemple.

Finissons par les trois personnes qui ont été aux premières loges et ont joué un rôle essentiel dans toute cette histoire. Françoise, ma formidable mère, parce qu'on forme toutes les deux et depuis toujours une si belle équipe. Mina, ma grande amie, pour la douceur de vivre. Henry, enfin, à qui je dois l'idée de faire une thèse (rendons à César) et qui a tout de suite eu une foi inébranlable en ma capacité d'y parvenir.

Merci à toutes et à tous.

Table des abréviations

| | |
|---------|--|
| ADR | Active Debris Removal |
| AFNOR | Association française de normalisation |
| AIAA | American Institute of Aeronautics and Astronautics |
| BOK | Behavior Oriented Knowledge |
| CIS | Commonwealth of Independent States (Russie / URSS) |
| CNES | Centre National des Études Spatiales |
| CNSA | China National Space Administration |
| CONFERS | Consortium for Execution of Rendezvous and Servicing Operations |
| COPUOS | Committee on the Peaceful Uses of Outer Space |
| COSPAR | Committee on Space Research |
| CPR | Common-Pool Resource |
| CSA | Canadian Space Agency |
| DLR | Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt (agence spatiale allemande) |
| DOC | Department of Commerce |
| DOD | Department of Defense |
| DOT | Department of Transportation |
| EPFL | École polytechnique Fédérale de Lausanne |
| ESA | European Space Agency |
| EUSST | European Space Surveillance and Tracking Framework |
| FCC | Federal Communications Commission |
| IAASS | International Association for the Advancement of Space Safety |
| IADC | Inter-Agency Debris Committee |
| IAF | International Astronautical Federation |
| ICAO | Organisation de l'Aviation Civile Internationale |
| IILS | International Institute on Space Law |
| ISO | International Standards Organization |
| ITU | International Telecommunication Union |
| JAXA | Japan Aerospace Exploration Agency |
| LOS | Loi sur les opérations spatiales |
| NASA | National Aeronautics and Space Administration |

Table des abréviations

| | |
|-----------|---|
| NASDA | National Space Development Agency of Japan |
| NORAD | North American Aerospace Defense Command |
| OECD | Organization for Economic Cooperation and Development |
| ONERA | Office national d'études de recherches aérospatiales |
| OOA | On-Orbit Assembly |
| OOM | On-Orbit Manufacture |
| OOS | On-Orbit Servicing |
| ROSCOSMOS | Entreprise d'État pour les activités spatiales russe |
| SIA | Satellite Industry Association |
| SSC | Space Safety Coalition |
| SSR | Space Sustainability Rating |
| STM | Space Traffic Management |
| SWF | Secure World Foundation |
| WEF | World Economic Forum |

Sommaire

| | |
|--|----|
| REMERCIEMENTS..... | 3 |
| TABLE DES ABREVIATIONS..... | 5 |
| SOMMAIRE..... | 7 |
| INTRODUCTION GENERALE..... | 11 |
| CHAPITRE 1 – PRESENTATION DE LA METHODOLOGIE ET DU DESIGN DE LA RECHERCHE..... | 19 |
| 1. <i>Choix et présentation de l'objet de recherche</i> | 19 |
| 1.1. Choix de l'objet d'étude..... | 19 |
| 1.2. Présentation du cas des débris spatiaux..... | 20 |
| 2. <i>Le défi méthodologique des problèmes complexes</i> | 23 |
| 2.1. La nécessité des méthodologies flexibles..... | 24 |
| 2.2. Processus d'exploration et d'inspection dans le cas des débris spatiaux..... | 26 |
| 2.3. L'articulation de la description et de la narration..... | 28 |
| 3. <i>Collecte et traitement qualitatif des données</i> | 29 |
| 3.1. Collecte des données..... | 30 |
| 3.2. La triangulation et la saturation des données..... | 38 |
| 3.3. Analyse des données..... | 39 |
| 3.4. Les limites et les risques méthodologiques..... | 40 |
| CHAPITRE 2 – DESCRIPTION DU CAS DES DEBRIS SPATIAUX..... | 45 |
| 1. <i>Prélude : les caractéristiques des débris spatiaux, de leur point de vue</i> | 45 |
| 2. <i>Description-narration du cas des débris spatiaux</i> | 47 |
| 2.1. Analepse : des météoroïdes aux débris spatiaux..... | 48 |
| 2.2. Les débris spatiaux comme objet d'étude scientifique (1978-1993)..... | 50 |
| 2.3. Les débris spatiaux comme objet de régulation (1993-2007)..... | 52 |
| 2.4. Les débris spatiaux comme objet de gestion pour les acteurs (2007-2015)..... | 56 |
| 2.5. Les débris spatiaux comme une source d'opportunité (depuis 2015)..... | 59 |
| CHAPITRE 3 – LA GESTION PAR LES REGLES..... | 65 |
| 1. <i>Approches juridique et philosophique de la règle</i> | 66 |
| 1.1. Le droit et la règle..... | 66 |
| 1.2. La philosophie et la règle..... | 67 |
| 2. <i>Les sources de régulation dans le problème des débris spatiaux</i> | 70 |
| 2.1. Les États et les agences spatiales..... | 71 |
| 2.2. L'IADC (Inter Agency Space Debris Committee)..... | 74 |
| 2.3. Le COPUOS (Committee on the Peaceful Uses of Outer Space)..... | 77 |
| 2.4. L'ISO (International Standards Organization)..... | 84 |
| 2.5. Les coalitions d'acteurs privés..... | 87 |
| 3. <i>Le rôle des règles, entre approche verticale et horizontale</i> | 93 |
| 3.1. L'objectif des forums quant à la nature des règles produites..... | 93 |
| 3.2. Différents rôles pour les règles de <i>soft law</i> | 94 |
| 4. <i>Articulation entre les règles et les forums</i> | 96 |

| | |
|--|-----|
| CHAPITRE 4 – LA GESTION PAR LE MARCHÉ | 103 |
| 1. <i>Approche théorique du marché comme mode de gestion</i> | 104 |
| 1.1. Le lien entre marché et problèmes d’action collective | 105 |
| 1.2. Le processus de <i>market fashioning</i> | 106 |
| 1.3. Les catégories de marché | 108 |
| 2. <i>La possibilité d’un marché des débris spatiaux : obstacles et incertitudes</i> | 109 |
| 2.1. La valorisation des débris spatiaux ? | 110 |
| 2.2. Le rapport bénéfice / risque | 111 |
| 2.3. La contradiction des méga-constellations | 113 |
| 3. <i>Les stratégies du market fashioning</i> | 115 |
| 3.1. Les activistes | 119 |
| 3.2. Les participants | 124 |
| 3.3. Les attentistes | 125 |
| 4. <i>Dynamique des catégories de marché</i> | 127 |
| 4.1. On-Orbit Servicing et Active Debris Removal, deux catégories imbriquées | 128 |
| 4.2. On-Orbit Servicing et Active Debris Removal, deux catégories distinctes | 129 |
| 4.3. Articulation stratégique entre deux catégories de marché | 131 |
| CHAPITRE 5 – LA GESTION PAR LES COMMUNS | 135 |
| 1. <i>Les communs comme objet théorique multiple</i> | 135 |
| 1.1. Étymologie et approche historique | 135 |
| 1.2. Hardin et la métaphore | 138 |
| 1.3. La théorie des communs d’Elinor Ostrom | 140 |
| 1.4. Les « nouveaux communs » | 142 |
| 1.5. Le commun comme processus | 146 |
| 2. <i>Le cas des débris spatiaux à la lumière des théories des communs</i> | 150 |
| 2.1. Le commun comme ressource | 150 |
| 2.2. Le commun comme problème d’action collective | 153 |
| 2.3. Le commun comme mode de gestion | 156 |
| CHAPITRE 6 – GERER LES PROBLEMES COMPLEXES D’ECHELLE PLANETAIRE PAR LE COMMONING GLOBAL | 161 |
| 1. <i>Une communauté épistémo-affective de commoneurs globaux</i> | 164 |
| 1.1. Une communauté épistémique hétérogène | 165 |
| 1.2. Une communauté à dimension affective | 170 |
| 2. <i>Un système polycentrique de production de règles</i> | 174 |
| 2.1. Introduction à la notion de polycentrisme | 175 |
| 2.2. Des forums articulés entre un premier plan (<i>foreground</i>) et un arrière-plan (<i>background</i>) | 177 |
| 2.3. Le rôle des commoneurs dans la gestion du système polycentrique | 179 |
| 3. <i>Un processus de production collective de la connaissance</i> | 181 |
| 3.1. Une typologie de la connaissance produite sur les débris spatiaux | 182 |
| 3.2. La production d’une connaissance orientée vers le comportement des acteurs | 197 |
| 4. <i>Un processus de diffusion de la connaissance du problème</i> | 201 |
| 4.1. Nommer le problème | 201 |
| 4.2. Montrer le problème | 203 |

Sommaire

| | | |
|---|---|-----|
| 4.3. | Expliquer le problème..... | 205 |
| 4.4. | Adapter le discours | 206 |
| CHAPITRE 7 – DISCUSSION, CONTRIBUTIONS, LIMITES ET FUTURES VOIES DE RECHERCHE | | 211 |
| 1. | <i>Synthèse des résultats et discussion</i> | 211 |
| 1.1. | Le processus complexe de catégorisation d'un problème complexe d'échelle planétaire..... | 212 |
| 1.2. | La coordination du système polycentrique..... | 213 |
| 1.3. | Les stratégies de <i>market fashioning</i> et la dynamique entre les différentes catégories de marché..... | 215 |
| 1.4. | Le rôle de la communauté de commoneurs globaux | 216 |
| 1.5. | La production d'une connaissance sur les problèmes globaux..... | 217 |
| 2. | <i>Contributions</i> | 218 |
| 2.1. | Contributions théoriques..... | 218 |
| 2.2. | Contributions méthodologiques..... | 220 |
| 2.3. | Contributions managériales..... | 222 |
| 3. | <i>Limites et voies de recherches futures</i> | 223 |
| 3.1. | Limites de l'évaluation du mode de gestion | 223 |
| 3.2. | Vérification empirique des hypothèses théoriques formulées de manière abductive..... | 224 |
| 3.3. | Approfondissement de l'étude sur un autre cas empirique similaire | 224 |
| ARTICLES DE LA THESE | | 227 |
| | <i>Article 1. Gérer un méta-problème : le cas des débris spatiaux</i> | 229 |
| | <i>Article 2. Nouvelles dynamiques du secteur spatial : Startups et débris spatiaux. Le cas Astroscale</i> | 251 |
| | <i>Article 3. Le rôle des analogies et des métaphores dans un grand challenge : le cas des débris spatiaux</i> | 263 |
| | <i>Article 4. On the emergence of an Active Debris Removal market</i> | 279 |
| CONCLUSION GENERALE | | 299 |
| LISTE DES FIGURES | | 301 |
| LISTE DES TABLEAUX | | 302 |
| ANNEXES | | 303 |
| | <i>Annexe 1 - Chronologie de la description / narration du cas des débris spatiaux</i> | 303 |
| | <i>Annexe 2 - Chronologie de la production de règles sur les débris spatiaux dans les cinq principaux centres de régulation</i> | 305 |
| | <i>Annexe 3 – Organisation des sessions de la European Space Debris Conference</i> | 307 |
| | <i>Annexe 4 – Thématiques des programmes de la European Space Debris Conference</i> | 310 |
| BIBLIOGRAPHIE | | 313 |

Introduction générale

La période actuelle est caractérisée par l'apparition de problèmes qui concernent l'ensemble de la planète, tels que le réchauffement climatique, l'acidification et la surexploitation des océans, la pollution plastique ou la mise en péril de la biodiversité. Ces problèmes prennent la forme de tragédies des communs à l'échelle mondiale, dans lesquelles se heurtent l'intérêt individuel des acteurs et l'avantage qu'ils auraient à agir collectivement. Il n'existe pas d'État mondial susceptible d'imposer des règles globales, ni de marché suffisamment efficace pour envisager de régler ces problèmes par la création de droits de propriété. Se pose donc la question de la gestion de ces problèmes et des modes de coordination entre acteurs impliqués.

Ce type de problème a été identifié comme un objet d'intérêt dans la littérature dès les années 1970. Rittel & Webber (1973), par exemple, parlent de *wicked problems*, des problèmes sociaux non résolus qui se caractérisent par leur incertitude, la complexité des relations sociales qui unissent leurs acteurs et leur dimension évolutive (Dentoni, Bitzer, Schouten 2018). Il existe également les *messes*, systèmes de problématiques entrelacées les unes aux autres, rencontrés par toute organisation évoluant dans un environnement complexe (Ackoff 1981). Enfin, T.J. Cartwright évoque les méta-problèmes, qu'il distingue des problèmes simples, composés ou complexes car ils comportent un nombre inconnu de variables et qu'ils dépassent les frontières organisationnelles (Cartwright 1987). Les recherches sur cette famille de concepts ont évolué d'une perception systémique vers l'élaboration de stratégies d'action (Battistelli 2021) que symbolise l'apparition de la notion de *grand challenges*.

Les *grand challenges*, ou grands défis, forment depuis une dizaine d'années un nouveau champ prolifique de la littérature en gestion. Ils désignent des problèmes globaux, qui comportent une dimension sociétale, affectant ou menaçant d'affecter l'activité humaine, comme le changement climatique, la défense des écosystèmes naturels, la pauvreté, la pandémie de COVID-19, ou la faim dans le monde. Ils se caractérisent par leur complexité et leur incertitude ainsi que par leur caractère « évaluatif », car de nouvelles problématiques surgissent au fur et à mesure de la découverte du problème (Ferraro, Etzion, Gehman 2015). Gerard George et ses collègues proposent de les définir de la manière suivante : “*specific critical barrier(s) that, if removed,*

would help solve an important societal problem with a high likelihood of global impact through widespread implementation” (George et al. 2016). Des travaux récents ont également montré que les *grand challenges* étaient reliés les uns aux autres. Par ailleurs, en l’absence de frontières clairement définies, toute tentative de gestion peut potentiellement aggraver le problème. Enfin, les *grand challenges* revêtent un caractère paradoxal (Gümüşay et al. 2022).

Une partie des articles qui mobilisent la notion de *grand challenge* utilisent le concept pour justifier le cas empirique : « *the label seems to [...] be a useful rhetorical device for positioning research on significant societal problems and hence moving it into the academic mainstream.* » (Howard-Grenville & Spengler, 2022, p. 285). Cette littérature peut également être mobilisée comme une « théorie motivante ». Montrer le caractère complexe et difficilement gérable de ce type de problèmes permet de justifier l’importance d’en comprendre les modes de gestion : « *In sum, we can see that many management scholars have gone beyond “grand challenge naming” and begun to heed the call for “tackling” them [...] – both by showing how sustained coordination can be successful and why it may fail.* » (Howard-Grenville & Spengler, 2022, p. 286). Dans le dernier ouvrage paru sur le sujet, Ali Gümüşay et ses collègues soulignent trois axes de recherche centraux pour l’étude des *grand challenges*. Il s’agit d’étudier leur mode de gouvernance et de la manière dont ils sont régulés (e.g. Gegenhuber et al., 2022). Il semble également nécessaire d’envisager leur temporalité particulière, liée à leur caractère incertain (e.g. Kroeger et al., 2022; Stjerne et al., 2022). Il s’agit aussi d’intégrer la dimension narrative et imaginaire liée à leur gestion (e.g. Schoeneborn et al., 2022). Cette thèse se propose d’explorer les différentes pistes ouvertes par la littérature sur les *grand challenges*, à travers la question de recherche suivante : quel(s) mode(s) de gestion sont mis en œuvre dans un problème complexe d’échelle planétaire de type *grand challenge* ?

Gehman et al. (2022) soulignent l’importance de décentraliser la recherche sur les *grand challenges* par rapport aux acteurs : « *Field studies that explore particular issues and contexts appear to enable greater acuity than case studies focused on specific organizational actors, and managers in particular.* » (Gehman et al., 2022, p. 272). Dans la mesure où les *grand challenges* sont rares, quoique de grande envergure, et dans la mesure où il s’agit d’étudier des processus de gestion, l’étude de cas est apparue comme une méthodologie adaptée (Swanborn 2010). Face à l’ampleur du sujet, s’est posée la question du choix du cas. Les *grand challenges* qui portent sur des problèmes environnementaux se caractérisent par un nombre important d’acteurs impliqués et de dimensions scientifiques et pratiques difficilement maîtrisables. Nous avons cherché un domaine plus restreint en termes de diversité d’acteurs et plus focalisé en

termes de problème scientifique et technique. Le cas des débris spatiaux nous a paru intéressant de ce double point de vue.

La grande majorité des objets artificiels qui gravitent autour de l'orbite terrestre ne sont pas des satellites en activité mais des débris spatiaux, reliquats de l'activité humaine. On en recense aujourd'hui 29 000 de plus de dix centimètres, 670 000 de plus d'un centimètre et 170 millions de plus d'un millimètre¹ et leur nombre augmente de manière exponentielle. Les débris présentent un risque pour les activités spatiales. Leur présence nuit à l'observation du ciel, saturant les images des télescopes (Hall et al. 2019). Les séjours des astronautes en orbite deviennent de plus en plus dangereux. La Station Spatiale Internationale, constamment habitée, doit effectuer plusieurs manœuvres de secours par an pour éviter les collisions. Les débris pourraient devenir un obstacle au succès des missions futures (Greenbaum, 2020). Les débris présentent également un risque pour les activités terrestres. En effet, le recours aux données satellitaires est devenu essentiel au fonctionnement de nos sociétés contemporaines. L'orientation des avions ou des bateaux, l'organisation des secours en mer et en montagne, reposent sur des données collectées par des satellites, tout comme les réseaux de télécommunication téléphoniques, les études météorologiques, l'accès à Internet, aux ondes radio, aux transferts bancaires instantanés (Hall et al. 2019).

Non seulement la prolifération des débris menace la poursuite des activités spatiales et terrestres, mais elle représente également un problème de gestion particulièrement complexe qui implique des parties prenantes très hétérogènes. L'espace extra-atmosphérique est piloté par les États, légalement responsables des activités spatiales menées sur leur territoire, qui délèguent l'application de leur politique spatiale aux agences, également chargées du développement technique et scientifique des projets d'innovation. Ces dernières collaborent étroitement avec les acteurs de l'industrie, auxquels elles apportent un soutien technique et financier qui leur permet de fabriquer et commercialiser satellites, lanceurs et services spatiaux. Plusieurs organisations internationales sont également impliquées dans la gestion de l'espace. La diversité des parties prenantes laisse deviner celle de leurs intérêts. L'espace extra-atmosphérique représente un enjeu stratégique pour les États, comme le rappellent les tirs de

¹ https://www.esa.int/Space_Safety/Clean_Space/How_many_space_debris_objects_are_currently_in_orbit

missiles anti-satellites visant à faire la démonstration des capacités militaires d'un pays, réalisés par exemple par la Chine, en 2007, et par l'Inde en 2019. Pour les organisations internationales, ces tirs vont à l'encontre des efforts de préservation des orbites terrestres, envisagées comme un bien commun. La multiplication des lancements, due au déploiement de méga-constellations ou du développement des Cubesats, reflètent l'opportunité économique de l'exploitation des orbites terrestres, qui semble aller à l'encontre des tentatives de mitigation du risque de collisions en orbite.

Malgré la complexité du problème, on observe des efforts de la part de certains acteurs pour gérer, du moins atténuer, le risque associé aux débris spatiaux. Ces efforts de gestion abordent le problème non pas à travers une mais plusieurs dimensions. Ils portent à la fois sur la prévention de nouvelles catastrophes, en évitant le lancement de missiles anti-satellites et en améliorant les méthodes de suivi des débris, mais ils visent également à réduire la production de nouveaux débris en produisant de nouvelles régulations incitant à limiter le temps passé en orbite, à passiver les satellites et à anticiper leur fin de vie dès le moment de leur construction. En parallèle, on assiste au développement de projets de désorbitation des débris les plus dangereux.

Pour résumer, la multiplication des objets artificiels en orbite présente un risque important pour les activités spatiales, présentes ou à venir, mais aussi pour plusieurs secteurs d'activité terrestres. Elle renvoie à un problème de gestion particulièrement complexe car impliquant des acteurs hétérogènes, qui poursuivent des intérêts divers et parfois contradictoires. De plus, elle requiert un effort de gestion multidimensionnel, devant à la fois porter sur la préservation, la mitigation et la remédiation. On a montré que le phénomène d'augmentation du nombre des débris spatiaux se déployait au niveau global, qu'il pouvait potentiellement avoir d'importantes répercussions sociales et que l'hétérogénéité de ses parties prenantes et sa multidimensionalité le rendaient particulièrement complexe. L'évolution de la situation reste également sujette à une profonde incertitude, car on ne sait pas quand pourrait se déclencher un phénomène de réactions en chaîne. Ce problème semble rassembler toutes les caractéristiques d'un *grand challenge*.

Selon Brammer et al. (2019), le terme de *grand challenges* recouvre plusieurs catégories de phénomènes empiriques. Les *grand challenges* qui ont une portée géographique globale peuvent être sociétaux ou globaux. Les premiers concernent des communautés d'acteurs très hétérogènes (e.g. le changement climatique, la réduction de la pauvreté) alors que les seconds n'impliquent qu'un seul type de parties prenantes (e.g. la crise du système bancaire). D'autres

grand challenges se déploient à une échelle géographique plus restreinte, ne concernant qu'une région ou qu'un pays. C'est le cas des *grand challenges* complexes, qui ne touchent qu'un territoire bien défini mais mobilisent des acteurs très divers (e.g. les feux de forêt ou les inondations) et des *grand challenges* de communauté, qui eux sont à la fois locaux et centrés sur un secteur (e.g. les problèmes de corruption). Les débris spatiaux ne correspondent véritablement à aucune de ces catégories. D'abord, la portée géographique du problème peut être considérée comme globale, puisque tous les pays sont concernés par l'accès à l'espace. Mais on peut aussi considérer l'espace extra-atmosphérique comme une région à part entière, distincte de la Terre. Par ailleurs, le secteur spatial ne compte jusqu'à présent qu'un nombre relativement restreint d'acteurs. Toutefois, on a vu que le problème des débris spatiaux pourrait, dans l'éventualité d'une catastrophe, impliquer des secteurs d'activités beaucoup plus nombreux et variés. Si le problème des débris spatiaux peut être qualifié de *grand challenge*, il apparaît néanmoins comme un cas singulier.

La thèse propose donc d'étudier les modes de gestion d'un problème complexe d'échelle planétaire à travers le cas des débris spatiaux. Aborder un problème de ce type dans son ensemble représente un enjeu méthodologique de taille car les frontières du problème ne sont pas clairement définies, les parties prenantes sont nombreuses, tout comme leur approche du problème. Un design de recherche flexible a été privilégié, mêlant une approche multiniveau et des méthodologies variées. Un ensemble de données primaires et secondaires ont été collectées, notamment sous la forme d'entretiens, puis codées. Les choix méthodologiques sont présentés dans le **Chapitre 1**. Cette analyse s'appuie sur une démarche compréhensive, dans laquelle nous cherchons à mettre en évidence les points de vue des acteurs. Afin d'y parvenir, une description-narration a été réalisée sur le cas, avec la particularité de mêler une approche chronologique avec un étagement de « voir comme » du problème par les acteurs. Cette description-narration est au cœur du **Chapitre 2**.

La littérature sur la gestion de l'action collective a proposé plusieurs pistes de réflexion autour de la question des modes de gestion des problèmes complexes d'échelle planétaire. Dans un article de 1968, Garrett Hardin décrit une situation de surexploitation d'une ressource naturelle en accès libre, en l'occurrence un pâturage (Hardin 1968). À cette situation « tragique », il propose deux voies de solutions. La première consiste à remettre le pouvoir décisionnel aux

maines d'une autorité centrale étatique, un Léviathan. La seconde est celle d'une gestion par la privatisation de la ressource. Une vingtaine d'années plus tard, l'économiste Elinor Ostrom propose un troisième mode de gestion qui consiste à gérer collectivement la ressource sur le mode du commun (Ostrom 1990). L'État, le marché et le commun constituent donc trois approches classiques de la gestion d'un problème global. Elles nous serviront de fil rouge tout au long de cette thèse. Nous proposons d'explorer successivement chacune de ces dimensions, dans une démarche qui relève de l'exploration et de l'inspection au sens de Blumer, avec pour objectif de comprendre dans quelle mesure chacun de ces modes de gestion peut s'appliquer au problème des débris spatiaux.

Dans le **Chapitre 3**, on questionne la possibilité de gérer le problème de manière centralisée, à travers un acteur étatique autonome. Cette solution semble improbable dans le cas des débris spatiaux, qui rassemble des acteurs nombreux et hétérogènes qui peinent à atteindre un consensus. Toutefois, les acteurs ont recours à la production de règles pour tenter de gérer le problème. Ces règles proviennent de centres de régulation variés, entre lesquels elles sont traduites et circulent.

Le **Chapitre 4** porte sur la seconde solution proposée par Hardin : la gestion par le marché. Ce dernier peut en effet agir comme un outil politique de gestion de l'action collective. Le potentiel marché des débris se trouve en plein processus de façonnement, ou *market fashioning*, dans lequel les acteurs adoptent des stratégies variées. Ce marché potentiel se structure également autour de plusieurs catégories, qui entretiennent entre elles des relations dynamiques.

Enfin, le **Chapitre 5** revient sur la gestion par les communs. Après avoir dressé un panorama des grandes étapes de la pensée des communs, on montre que les communs peuvent être compris comme un type de ressource, mais également comme un type de problème d'action collective, et enfin comme un mode gestion. L'analyse de ces trois dimensions appliqués au problème des débris montre qu'il n'est pas géré « en commun », mais que le concept de communs semble néanmoins essentiel à la compréhension du problème.

Des trois modes de gestion classiques de problèmes globaux (la gestion par le marché, par la régulation, par les communs), aucun ne peut constituer une solution à lui seul. Ainsi, le succès d'un potentiel marché des débris spatiaux est caractérisé par une forte incertitude, mais pourrait néanmoins jouer un rôle important dans la gestion du problème. Les règles produites sur les débris prennent des formes disparates, et sont produites par des forums multiples, mais font l'objet d'une coordination. Enfin, le problème des débris ne semble faire que très partiellement l'objet d'une gestion « en commun », mais il renvoie néanmoins à un problème d'action

collective typique des problèmes de communs. Autant d'indices qui nous encouragent à définir dans le **Chapitre 6** un autre mode de gestion de problèmes complexes d'échelle planétaire, articulant toutes ces dimensions, et que nous proposons d'appeler *commoning* global. Ce mode de gestion repose sur une communauté d'experts qui entretiennent une relation affective vis-à-vis du problème, qui sont impliqués dans la coordination du système de régulation polycentrique, qui produisent collectivement la connaissance essentielle à la gestion du problème et qui sont chargés de la diffusion de cette connaissance. Enfin, le **Chapitre 7** nous permet de revenir sur les résultats présentés tout au long de cette thèse, et de détailler les contributions théoriques, empiriques et méthodologiques.

| Introduction générale | | |
|------------------------------|---|--|
| Chapitre 1 | Méthodologie et design de recherche | <i>Choix et présentation de l'objet de recherche, Étude de cas unique, Méthodologies flexibles.</i> |
| Chapitre 2 | Présentation du cas des débris spatiaux | <i>Description du point de vue de l'objet, Narration-description du point de vue des acteurs.</i> |
| Chapitre 3 | La gestion par les règles | <i>Approches juridique et philosophique de la règle, Sources de régulation, Rôle des règles, Articulation entre règles et forums.</i> |
| Chapitre 4 | La gestion par le marché | <i>Le marché comme mode de gestion, Possibilité d'un marché des débris spatiaux, Stratégies du market fashioning, Dynamiques des catégories de marché.</i> |
| Chapitre 5 | La gestion par les communs | <i>Les communs comme objet théorique multiple, Le cas des débris spatiaux à la lumière des théories des communs.</i> |
| Chapitre 6 | La gestion par le commoning global | <i>Communauté épistémo-affective de commoneurs globaux, Système polycentrique de production de règles, Processus de production collective de la connaissance, Processus de diffusion de la connaissance du problème.</i> |
| Chapitre 7 | Discussion, contributions, limites et futures voies de recherche | <i>Synthèse des résultats et discussion, Contributions théoriques, méthodologiques et empiriques, Limites et voies de recherche.</i> |
| Conclusion | | |

Tableau 1 Architecture de la thèse

Chapitre 1 – Présentation de la méthodologie et du design de la recherche

Dans ce chapitre, nous présentons la méthodologie utilisée au cours de cette thèse. Nous commençons par introduire le cas empirique des débris spatiaux et justifier son choix (1). Nous expliquons ensuite comment le choix de méthodologies flexibles nous a permis d'appréhender la difficulté intrinsèque à l'étude de ce type de phénomène empirique (2). Enfin, nous détaillons la manière dont les données ont été récoltées, puis traitées, avant de souligner les limites méthodologiques de cette recherche (3).

1. Choix et présentation de l'objet de recherche

Dans cette première section, nous revenons d'abord sur le choix de ce phénomène empirique complexe comme objet d'étude (1.1) avant de présenter les caractéristiques du cas (1.2).

1.1. Choix de l'objet d'étude

L'objet d'étude est généralement choisi en raison d'une proximité entre le chercheur et l'objet empirique. Il peut s'agir d'une proximité professionnelle ou d'une affinité personnelle avec un groupe d'individus ou un terrain de recherche. Howard Becker raconte avoir fait son mémoire de master sur les musiciens ordinaires, alors qu'il était lui-même pianiste de profession et qu'il souhaitait continuer d'évoluer dans des milieux qui lui étaient chers (Becker, 2020, p. 205). Le choix peut également être dû aux opportunités qui peuvent surgir au moment de la construction du projet. Dans ses entretiens avec Pierre Charbonnier, Philippe Descola raconte que le choix de la région dans laquelle il a mené son terrain de recherche en Amazonie tenait « du hasard des rencontres » (Descola & Charbonnier, 2014, p. 131). Facilités d'accès au terrain, affinités personnelles et rencontres relèvent toutes de « l'opportunisme méthodique » dont parle Jacques Girin. Il faut savoir saisir les opportunités qui surgissent au fil de la recherche, et accepter qu'elles la fassent dévier du chemin que l'on avait tracé pour elle (Girin 2016).

Le choix de notre cas n'a relevé d'aucun de ces trois mécanismes. Nous n'avions pas d'accès privilégié au terrain. On aurait pu craindre aussi qu'il soit difficile d'aller interroger des acteurs internationaux sur des questions potentiellement confidentielles et même touchant à la défense. Le secteur spatial n'était pas proche de notre formation initiale. S'il existait une certaine affinité avec le secteur spatial, elle relevait davantage de la curiosité. C'est l'intérêt intrinsèque du cas

et son caractère prometteur qui ont justifié l'étude de cet objet empirique. Il s'agit également d'une forme d'opportunisme à la Girin, mais qui relève davantage d'un « gut feeling » ou d'une forme d'intuition. Pour Flyvbjerg (2006), l'intuition peut jouer un rôle dans la démarche de recherche et notamment dans le choix des sujets d'étude, comme l'illustre cet échange avec Hubert Dreyfus : « *Heidegger says, you recognize a paradigm case because it shines, but I'm afraid that is not much help. You just have to be intuitive. [...] It is a big problem in a democratic society where people are supposed to justify what their intuitions are. In fact, nobody really can justify what their intuition is. So you have to make up reasons, but it won't be the real reasons.* (personal communication, 1988) » (Dreyfus, cité in Flyvbjerg, 2006, p. 232). Aussi intuitif qu'il puisse être, tout choix doit néanmoins pouvoir être justifié : « *those intuitive decisions are accountable, in the sense of being sensible to other practitioners or often explicable if not immediately sensible.* » (Flyvbjerg, 2006, p. 233). Dans la partie suivante, nous justifions donc notre intuition initiale en présentant le cas des débris spatiaux.

1.2. Présentation du cas des débris spatiaux

Trois questions doivent être posées pour mettre en évidence la pertinence du choix d'un cas : « de quoi mon cas est-il le cas ? », « de quoi mon cas est-il fait ? » et « que peut produire mon cas ». Les trois sous-parties de cette section visent à répondre à ces trois questions, en commençant par réfléchir à la catégorisation empirique et théorique du cas des débris spatiaux (1.2.1), en détaillant les problématiques qui le composent (1.2.2), et en présentant la démarche abductive utilisée tout au long de cette recherche (1.2.3).

1. 2. 1. Catégorisation empirique et théorique du cas

Le cas des débris spatiaux peut être associé à différentes catégories de problèmes, sur le plan empirique comme théorique. Plusieurs « théories orientantes » guidé la recherche (Whyte 1984).

Comme évoqué en introduction, le cas renvoie d'abord à un problème complexe d'action collective globale, ou un *grand challenge*, à l'image de la pollution atmosphérique et du changement climatique. Le cas des débris spatiaux peut aussi être envisagé comme un cas de commun global. La situation relève du dilemme entre la poursuite de l'intérêt individuel (envoyer toujours plus de satellites en orbite en minimisant les coûts) et la poursuite de l'intérêt

collectif (maintenir ou réduire le risque de collisions pour garantir l'utilisation de l'espace à long terme). Cette tension est caractéristique de toute « tragédie des communs ». Par ailleurs, l'espace extra-atmosphérique appartient à la catégorie des communs globaux, comme l'océan ou l'atmosphère.

Le cas des débris spatiaux peut également être envisagé comme un cas de gestion globale de déchets. Les débris représentent en effet des éléments inactifs et nocifs, qui se dispersent dans un environnement naturel difficile à nettoyer. Au cours de ce travail doctoral, nous avons eu l'occasion d'explorer le cas de la pollution plastique dans les océans et dans les fleuves. Comme pour les débris spatiaux, le problème se déploie à une échelle globale et comporte une forte dimension d'irréversibilité. Il s'agit aussi d'un problème de comportement des acteurs, qu'il faut réussir à modifier pour prévenir la production de débris (mitigation), mais également un problème de nettoyage des déchets déjà présents (remédiation). Cependant, les débris spatiaux ne représentent pas une pollution au sens propre du terme, puisque les orbites ne sont pas modifiées par la présence de débris. Ensuite, contrairement au plastique, les débris spatiaux ne peuvent pas faire l'objet d'une réutilisation et donc d'une valorisation. Les mécanismes de sa gestion sont nécessairement différents. On remarque également que la communauté scientifique active sur le problème des déchets en mer rassemble des disciplines scientifiques aussi variées que la physique, la chimie, l'économie, la biologie, l'écologie, la toxicologie, et plus récemment l'économie, l'anthropologie, la sociologie. Elle paraît plus étendue que celle qui travaille sur le cas des débris spatiaux. Enfin, le plastique est un problème aux frontières floues. Il faut remonter le long de la chaîne de valeur pour comprendre l'origine du problème, des modes de consommation, de distribution et jusqu'à la production même du plastique. La problématique dépasse largement les océans.

1. 2. 2. Un cas composé de plusieurs problématiques

Selon Yin (Yin 2009), certains cas auraient la particularité d'être emboîtés ("*embedded*"), c'est-à-dire de comporter plusieurs autres cas enchâssés. Dans la réalité, il semble que tout cas soit composé d'une multitude d'autres cas. Il revient au chercheur d'identifier quelle unité de sens ou d'analyse préférer pour mener son enquête (Dumez 2021).

Le cas des débris spatiaux peut être abordé à plusieurs niveaux et sous plusieurs angles théoriques. On voit ainsi apparaître un phénomène d'émergence de marché, qui permet d'organiser l'action collective (Ahrne, Aspers, Brunsson 2015) et qui fait l'objet d'une co-

création par les acteurs (Pitelis, Teece 2009). Par ailleurs, la gestion des débris spatiaux soulève également le problème de la standardisation de l'action collective (Abbott, Snidal 2000; Brunsson, Rasche, Seidl 2012; Büthe, Mattli 2013). Enfin, on observe également que la coordination du problème passe également par la formation de communautés épistémiques (Adler 1992; Haas 1992), et peut être envisagé sous l'angle des réseaux d'experts, particulièrement actifs dans la gestion du problème.

1. 2. 3. Un cas pour générer des hypothèses

Le cas n'est pas utilisé pour infirmer ou confirmer une théorie, mais pour générer des hypothèses à partir de faits surprenants. Il s'agit d'un processus abductif, une approche particulièrement intéressante dans les études de cas (Dumez 2013). Peirce la résume de la façon suivante : « *The form of inference [...] is: The surprising fact, C, is observed. But if A were true, C would be a matter of course; Hence, there is a reason to suspect that A is true. Thus, A cannot be abductively [...] conjectured until its entire content is already present in the premise, 'If A were true, C would be a matter of course'.* » (Peirce, 5.189, cité in Dumez, 2021). Contrairement à la déduction et à l'induction, l'abduction désigne « *ce qui peut être* » (Aliseda 2006). Cette méthode repose sur l'analyse de faits surprenants car ils diffèrent de ce que l'on s'attendait à observer étant donné ce que suggère la littérature existante.

L'étude de cas doit donc être réalisée à partir de théories d'arrière-plan ou qui orientent la recherche. Il s'agit de comparer le cas à la théorie pour faire émerger des surprises, permettant de formuler de nouvelles hypothèses, ou de nouvelles boucles d'abduction (David 2000) qui doivent ensuite être vérifiées par la triangulation. L'abduction génère donc une interaction entre le matériau empirique – les faits – et la théorie. Selon Dubois et Gadde, l'abduction prend, dans l'étude de cas, la forme d'une « combinaison systématique » : « *a nonlinear, path-dependent process of combining efforts with the ultimate objective of matching theory and reality.* » (Dubois & Gadde, 2002, p. 556).

Cette thèse est constituée de plusieurs surprises de ce type. L'une d'entre elles est apparue à la faveur de l'étude du potentiel marché des débris spatiaux (Chapitre 4). Nous avons analysé le potentiel marché des débris spatiaux en nous appuyant sur la typologie d'organismes proposée par Ahrne et ses collègues (2015). Constatant qu'elle ne permettait pas de décrire la réalité empirique que nous observions, nous avons proposé une nouvelle manière de distinguer les différents organisateurs du marché.

Cette thèse s'appuie sur une étude de cas unique. Le choix de l'objet empirique a été motivé par une intuition mais se justifie de plusieurs manières. D'abord, le cas des débris spatiaux peut être associé à différentes catégories empiriques et théoriques de problèmes (problèmes globaux, communs globaux, problèmes de déchets). Il peut également être traité en différentes problématiques (émergence de marché, standardisation, communautés épistémiques). Enfin, il permet de générer de nouvelles hypothèses à partir d'une confrontation entre matériau empirique et théorique, selon le principe de l'abduction.

Le cas des débris spatiaux renvoie à un phénomène empirique singulier particulièrement complexe, et par conséquent difficile à étudier. Dans la section suivante, nous présentons les difficultés méthodologiques associées à ce type de problème et la manière dont nous avons tenté d'y répondre.

2. Le défi méthodologique des problèmes complexes

L'étude des grands challenges génère de véritables défis méthodologiques pour les chercheurs (Jarzabkowski et al. 2019a). En effet, il s'agit de saisir un phénomène global, évolutif, impliquant une multiplicité de parties prenantes, qui envisagent le problème sous des angles différents. Se pose notamment la question du niveau d'analyse, car les *grand challenges* peuvent être étudiés à différentes échelles, au niveau micro que macro, global et local, individuel et organisationnel (Dittrich 2022). La littérature en gestion qui traite de ce type de problèmes défend l'utilisation de méthodologies dites inductives, dont l'objectif est de faire émerger de nouvelles hypothèses théoriques à partir d'études de cas, d'études interprétatives ou d'ethnographies (Battistelli, 2021 ; Eisenhardt et al., 2016). Il est également suggéré de faire varier les niveaux d'analyse (Lecocq 2012) ou en zoomant et dézoomant (Jarzabkowski et al. 2019a).

De plus, face à un problème empirique aussi complexe, il semble difficile de définir à l'avance un design de recherche. Celui-ci doit être élaborée au fur et à mesure de l'étude du sujet. Il s'agit donc d'adopter une démarche méthodologique qui peut s'adapter à la découverte progressive du cas. Dans cette section, nous présentons la méthodologie flexible proposée par Herbert Blumer et qui s'appuie sur les processus d'exploration et d'inspection (2.1). Nous

montrons ensuite comment ces processus ont guidé l'élaboration de cette thèse (2.2), dans laquelle les approches descriptives et narratives jouent un rôle particulièrement important (2.3).

2. 1. La nécessité des méthodologies flexibles

Dans *Symbolic Interactionism, perspective and methods* (Blumer 1986), Herbert Blumer propose une démarche méthodologique flexible articulant exploration et inspection (Dumez, Toussaint 2022). À l'époque de la parution de cet ouvrage, une guerre des idées fait rage entre plusieurs courants de sociologie qui se réclament des méthodes qualitatives et quantitatives. Dans *Faire preuve, des faits aux théories*, Howard S. Becker raconte la querelle scientifique qui opposa Herbert Blumer, alors professeur de sociologie à l'université de Chicago, et Samuel Stouffer, professeur à Harvard, qui l'accusa d'être le « fossoyeur de la sociologie américaine » (voir Becker, 2020, pp. 65-69). Stouffer était l'instigateur d'une étude sociologique de grande ampleur sur l'armée américaine, dite du « Soldat Américain » (Stouffer 1949), dont l'objectif était de démontrer que la sociologie pouvait siéger au rang des « vraies sciences », en adoptant une méthodologie des plus rigoureuses : « *des prémisses théoriques soigneusement conçues, testées et confirmées par d'élégantes analyses quantitatives sur des données méticuleusement mesurées* » (Becker, 2020, p. 67). Pour Blumer, cette approche était erronée : « *Today "methodology" in the social sciences is regarded with depressing frequency as synonymous with the study of advanced quantitative procedures, and a "methodologist" is one who is expertly versed in the knowledge and use of such procedures. He is generally viewed as someone who casts study in terms of quantifiable variables, who seeks to establish relations between such variables by the use of sophisticated statistical and mathematical techniques, and who guides such study by elegant logical models conforming to special canons of "research design."* » (Blumer, 1986, p. 24). L'interactionnisme symbolique défend une approche résolument empirique, permettant de placer l'analyse au niveau des acteurs individuels et de leurs interactions. Il s'agit de regarder les objets à partir du point de vue des acteurs eux-mêmes, de manière « respectueuse » du monde empirique, et non de manière abstraite ou objective. Or réussir à saisir le monde à travers les yeux des acteurs présente un défi méthodologique majeur. Pour y parvenir, Blumer propose deux « procédures » : l'exploration (*depiction*) et l'inspection (*analysis*).

Selon Blumer, l'*examination* du monde empirique débute par une exploration. Plutôt que d'aborder l'objet d'étude à la lumière d'une question de recherche préalablement définie, le

chercheur doit reconnaître que lorsqu'il se trouve « au bord » de son terrain, il ne connaît que très peu de choses sur son sujet et ne peut pas savoir ce qu'il va découvrir : « *Such a world or sphere of life is almost always remote and unknown to the research scholar; this is a major reason why he wants to study it. To come to know it he should get close to it in its actual empirical character.* » (Blumer, 1986, p. 46). Avant de procéder à l'analyse, il lui faut donc constituer un corpus de connaissances. Il s'agit de la phase d'exploration. Au fur et à mesure de sa progression, le chercheur affine progressivement sa compréhension de son sujet, ses choix méthodologiques ainsi que son positionnement conceptuel. La démarche d'exploration est flexible : « *The scholar shifts from one to another line of inquiry, adopts new points of observation as his study progresses, moves in new directions previously unthought of, and changes his recognition of what are relevant data as he acquires more information and better understanding.* » (Blumer, 1986, p. 40). Il n'existe ni méthode universelle ni protocole : toute liberté est laissée au chercheur de choisir la manière qu'il pense la plus adéquate pour approcher le sujet, les questions importantes à soulever, les données les plus intéressantes et les modalités de leur collecte. L'objectif est qu'il ou elle aille au « contact intime » de l'objet de recherche. Blumer insiste également sur l'importance des informateurs (*informants*). La rencontre de certains individus particulièrement bien informés et disposés à partager leurs connaissances, en jouant le rôle de guide et de traducteur, est un moyen efficace de s'orienter dans la jungle de monde empirique. L'exploration est donc un processus créatif, permettant de se rapprocher de l'objet empirique et dévoiler les problématiques pertinentes.

L'inspection désigne une seconde phase de la recherche qui relève de l'analyse. Il s'agit d'une observation « minutieuse » (*scrutiny*) de l'objet empirique révélé au cours de l'exploration : « *The prototype of inspection is represented by our handling of a strange physical object; we may pick it up, look at it closely, turn it over as we view it, look at it from this or that angle, raise questions as to what it might be, go back and handle it again in the light of our questions, try it out, and test it in one way or another. This close shifting scrutiny is the essence of inspection.* » (Blumer, 1986, p. 44). À nouveau, le choix des méthodes de cet examen est libre. Il revient au chercheur de faire preuve d'imagination et d'esprit d'initiative pour trouver la meilleure manière de regarder, avec le plus d'attention possible, l'objet empirique qu'il a sous les yeux. L'inspection consiste en deux volets. D'abord, on cherche à sélectionner les cadres théoriques qui semblent les plus pertinents pour l'analyse et qui vont s'emboîter correctement sur le matériau empirique. Ensuite, il s'agit d'associer, par un jeu de comparaisons, de combinaisons et d'allers retours, les cadres d'analyse et l'objet empirique. C'est à travers

l'examen approfondi du matériau empirique à la lumière des catégories théoriques que vont pouvoir émerger de nouveaux éléments d'analyse.

2. 2. Processus d'exploration et d'inspection dans le cas des débris spatiaux

Ce travail de thèse s'inscrit dans une approche résolument blumérienne. Afin de faire apparaître la réalité empirique dans toute sa complexité et peindre une image vivante de l'objet de recherche, nous avons veillé à faire varier les niveaux d'analyse et les méthodologies mobilisées, ainsi que les cadres théoriques auxquels nous avons confronté notre matériau empirique. Cette recherche s'est élaborée au fil de plusieurs articles, qui ont successivement adopté différents approches méthodologiques et théoriques, et ont ainsi permis de réaliser une exploration et une inspection, au sens de Blumer.

| Titre de l'article | Date | Méthodologie | Niveau d'analyse |
|--|-----------------|--|-------------------------|
| « Gérer un méta-problème, le cas des débris spatiaux » | 2020 | Narration et construction de scénarios sur le problème des débris spatiaux | Global |
| « Nouvelles dynamiques du secteur spatial : startups et débris spatiaux. Le cas Astroscale » | 2021 | Étude de cas d'une startup et analyse de sa stratégie de création de marché | Firme |
| « Le rôle des analogies et des métaphores dans un <i>grand challenge</i> » | 2021 | Analyse linguistique du discours des acteurs sur la description d'un problème global | Individuel |
| “On the emergence of an Active Debris Removal market” | 2022 | Étude de cas longitudinale de l'émergence du secteur de l'Active Debris Removal | Secteur |
| “Managing grand challenges through global commoning” | <i>En cours</i> | Analyse du <i>commoning</i> comme processus organisationnel permettant de gérer un problème complexe | Global et individuel |

Tableau 2 Articles de la thèse et leurs méthodologies respectives

Article 1. Au tout début de cette recherche nous avons utilisé une approche par les scénarios (Pinkham, Chaplin 1996; Schoemaker 1995; Wiebe et al. 2018) que l'on retrouve souvent sur des problématiques environnementales. Cette méthode se décompose en deux temps, identifiant deux axes de tension : « *Une approche commune à la construction de scénarios consiste à choisir deux forces motrices particulièrement importantes et incertaines, ou imprévisibles. Pour chacune de ces deux "incertitudes critiques", on suppose alors deux résultats futurs différents mais plausibles. En combinant les deux résultats pour les deux forces, on obtient une matrice de scénarios comportant quatre futurs différents.* » (Pinkham & Chaplin, 1996, p. 3). Puis il s'agit d'élaborer les quatre scénarios proprement dits sous la forme d'une narration : « *Les prémisses de la méthode de narration d'histoires reposent sur le fait que des récits vivants et plausibles peuvent souvent intéresser davantage les lecteurs que des études sèches et très analytiques* » (Pinkham & Chaplin, 1996, p. 18). Cette méthode a permis d'établir quatre scénarios de gestion du problème des débris spatiaux constituant une première étape de l'exploration du problème et servant de base à la suite de la recherche.

Article 2. Une deuxième étape de la recherche a consisté à changer de niveau d'analyse en nous plaçant non plus au niveau du cas des débris spatiaux, mais en nous concentrant sur une firme qui joue un rôle particulièrement important dans sa gestion. En changeant d'échelle et de point de vue, nous avons pu mettre à jour les stratégies de cet acteur privé singulier, la startup Astroscale, et d'écrire son rôle d'entrepreneur institutionnel.

Article 3. L'exploration du cas s'est poursuivie à travers une perspective encore différente. Dans le troisième article, nous avons situé le niveau d'analyse au niveau des individus impliqués dans la gestion du problème. Nous nous sommes notamment intéressés aux communautés d'experts, spécialistes des débris spatiaux, et nous avons observé leur relation au problème à travers l'analyse de leur discours, et plus particulièrement des figures de style qu'ils mobilisaient pour évoquer le cas des débris spatiaux. Cette analyse linguistique a permis de révéler des mécanismes de catégorisation et d'imagination de nouvelles solutions en fonction de la figure de style utilisée. Il faut préciser ici que le choix de ce niveau d'analyse est le résultat d'une surprise empirique. En effet, c'est au cours du codage de notre matériau empirique que nous est apparue la récurrence de l'emploi de certaines figures de style qui semblaient jouer des rôles distincts.

Article 4. Après avoir envisagé le problème à un niveau global, au niveau d'une firme et au niveau individuel, nous avons ensuite déplacé le curseur au niveau d'un secteur d'activité. Le quatrième article s'est concentré sur l'analyse longitudinale de l'activité d'Active Debris

Removal et de servicing en orbite. L'analyse de la structure et de la stratégie des différents projets nous a permis d'observer les dynamiques d'émergence du marché.

Article 5. Le cinquième et dernier article de cette thèse occupe une place particulière au sein de cette thèse. Sa première version remonte à l'été 2020, soit à la fin de la première année de thèse. Il a depuis fait l'objet de nombreuses réécritures et a servi de support à la réflexion d'ensemble du travail doctoral, jusqu'à être utilisé pour construire le cœur de la réflexion de cette thèse².

2. 3. L'articulation de la description et de la narration

Cette thèse s'inscrit dans une démarche compréhensive en essayant de « *donner à voir (description, narration) et [à] analyser les acteurs pensant, éprouvant, agissant et interagissant.* » (Dumez, 2021, p. 29). Nous cherchons à montrer les différents points de vue des acteurs et leurs stratégies respectives. Pour cela, nous avons recours à une approche descriptive et procédons à une description par complexification progressive (Ayache, Dumez 2022). Le processus consiste à partir d'une description minimale, ou « *thin* » au sens de Ryle (Ryle 1971), avant d'ajouter des éléments de complexification jusqu'à obtenir une description épaisse ou « *thick* » (Lincoln, Guba 1985). La description devient alors un enchaînement de « voir comme » (Dumez 2021). Envisagés comme l'acteur central de la description, les débris sont perçus par les acteurs comme un objet d'étude scientifique, mais également comme un objet de régulation, comme un problème de gestion global, et comme une source d'opportunité. Chacun de ces « voir comme » mobilise des acteurs et des problématiques différentes.

Toutefois, le cas des débris spatiaux se caractérise également par la notion d'émergence. Émergence d'un problème scientifique, émergence d'un système de régulation, émergence d'un marché, émergence d'un commun, il doit nécessairement être compris de façon dynamique et processuelle. Afin d'essayer de capter ce phénomène, nous nous sommes appuyés sur une approche narrative. Le travail doctoral a d'ailleurs débuté avec une étude historique de l'émergence du problème scientifique des débris spatiaux en reconstituant l'évolution des enjeux, la trajectoire des acteurs. Le récit a été construit à partir de l'élaboration de chronologies multiples (Abbott 2001; Abell 2004) qui ont permis un découpage en plusieurs séquences, encadrées par des points de basculement ou « *turning points* » (Dumez, Jeunemaitre 2006).

² Les articles évoqués sont présentés en annexe, à l'exception de l'article 5, encore en phase d'élaboration et donc une partie du contenu a servi de support au Chapitre 6 de la thèse.

La description et la narration ne peuvent être abordées distinctement, mais doivent être articulées. En effet, les différents « voir comme » n'ont pas toujours coexisté les uns avec les autres mais sont apparus, successivement, au fil du temps et de l'évolution de la problématique et de certains événements pivots que l'on peut qualifier de points de basculement. La description / narration suit un double mouvement : non seulement on tourne autour du problème dans une démarche de complexification progressive, mais cette description est inscrite sur un axe temporel, dans des séquences d'événements (Abbott, 1995). Contrairement à une narration classique, les séquences ne se succèdent pas, mais se complètent les unes les autres. De plus, les points de basculement que l'on identifie sont à l'origine de l'apparition de nouveaux « voir comme », mais ont également un impact sur les précédents « voir comme ». Cette démarche qui mêle description et narration semble adaptée à des problèmes particulièrement complexes, dont l'évolution au fil du temps évoque plutôt une complexification qu'une succession de séquences différentes.

Les problèmes complexes d'échelle planétaire présentent un véritable défi méthodologique pour les chercheurs, qui sont confrontés à l'absence de frontières du problème, au nombre important de parties prenantes et de possibles niveaux d'analyse. De plus, la complexité du problème implique de conserver une forme de flexibilité méthodologique afin d'adapter le design de recherche au fur et à mesure de la découverte du cas. En nous appuyant sur les travaux de Herbert Blumer, nous procédons en deux étapes. D'abord, nous réalisons une exploration du problème en faisant varier les niveaux d'analyse et les outils méthodologiques. Ensuite, le matériau empirique est confronté aux cadres théoriques, afin de faire émerger de nouvelles hypothèses. Dans la section suivante, nous décrivons le processus de collecte et de traitement des données empiriques qui a permis cette analyse.

3. Collecte et traitement qualitatif des données

La thèse s'appuie sur l'étude du cas des débris spatiaux, réalisée à partir d'un ensemble de données primaires et secondaires. Étant donnée la complexité du cas, et par souci de rigueur scientifique, les données collectées sont de nature variée. Dans cette partie, nous revenons sur les méthodes qui ont guidé le processus de collecte des données (3.1) et de triangulation (3.2),

avant de préciser les modalités de leur analyse (3.3) et les limites méthodologiques associées à cette recherche (3.4).

3. 1. Collecte des données

Au cours de cette recherche, nous avons collecté un ensemble de données primaires (3.1.1), à travers la réalisation d'entretiens mais également une forme d'observation. La recherche s'est également appuyée sur des données secondaires issues de nombreuses sources (3.1.2).

3. 1. 1. Données primaires : entretiens et observations

Un ensemble de 51 entretiens semi-directifs ont été réalisés entre avril 2019 et janvier 2021, avec des entretiens complémentaires ponctuels jusqu'à juillet 2022. Ils se sont déroulés en personne et à distance, ont été menés seule ou à deux. Ils ont concerné des interlocuteurs basés dans des pays différents, en France, en Europe (Allemagne, Autriche, Belgique, Pays-Bas, Royaume-Uni) et dans le reste du monde (Australie, Chine, États-Unis, Japon, Suisse). Les interlocuteurs appartenaient à des organisations très variées : agences spatiales, universités, firmes, startups, assurances, services d'état, corps diplomatiques, organismes de régulation internationale, armées, coalitions d'acteurs privés, associations. Au sein de ces organisations, ils occupaient des fonctions diverses : expert technique ou légal, ingénieur, COO, stagiaire, diplomate, chercheur, commercial, etc.

Les deux tableaux ci-dessous présentent les séries d'entretiens en fonction de la situation géographique des acteurs et de leur fonction au sein des organisations auxquelles ils appartiennent. La situation géographique a été déterminée en fonction de l'endroit où ces personnes exercent, et non par l'endroit où est implantée l'organisation pour laquelle elle travaille. En effet, par exemple, l'agence spatiale européenne a son siège social à Paris, mais est composée de plusieurs centres répartis à travers toute l'Europe. Dans le cadre de cette étude, nous avons été amenés à échanger avec des membres de l'ESA situés à Paris mais également en Allemagne, où est basé le centre de recherche sur les débris spatiaux (ESOC, Darmstadt). Par ailleurs, nous avons réparti les acteurs en plusieurs grandes catégories : agence spatiale, État, firme, startup, université, assurance, association, coalition d'acteurs privés. Nous avons choisi de distinguer les firmes (industriels historique et grands acteurs du New Space) des

startups, car il nous semble que ces deux entités ont des perspectives stratégiques très différentes.

Il faut souligner que plusieurs de nos interlocuteurs combinent de nombreuses expériences. Ainsi, nous avons parfois interrogé des personnes au sujet d’anciens postes qu’elles avaient occupés. De plus, elles ont cumulé parfois plusieurs fonctions. Un membre d’agence spatiale peut à la fois animer une organisation scientifique, siéger dans un ou plusieurs organismes internationaux de régulation, conseiller l’État sur le plan militaire, etc.

| Pays | Catégorie d’acteurs |
|-----------------|--|
| Allemagne (3) | Agence spatiale (2), Firme (1) |
| Australie (2) | Agence spatiale (2) |
| Autriche (2) | État (1), Organisation internationale (1) |
| Belgique (4) | État (4) |
| Chine (1) | État (1) |
| États-Unis (2) | Organisation internationale (1), Coalition d’acteurs privés (1) |
| France (28) | Agence spatiale (10), Assurance (1), État (4), Firme (6), Startup (2), Université (3), Organisation internationale (2) |
| Japon (5) | Agence spatiale (3), État (1), Startup (1) |
| Pays-Bas (1) | Université (1) |
| Royaume-Uni (2) | Startup (1), Organisation internationale (1) |
| Suisse (1) | Startup (1) |

Tableau 3 Répartition des catégories d’acteurs par pays

| Catégorie d'acteurs | Fonction des personnes rencontrées et nombre d'entretiens |
|---------------------------------|---|
| Université (4) | Universitaire (3), Chercheur (1) |
| Agence spatiale (17) | Direction (1), Expert scientifiques (12), Expert juridique (3), Expert politique industrielle (1) |
| Firme (8) | Ingénieur (6), Commercial (2) |
| Startup (5) | Fondateur (3), Membre (1), Stagiaire (1) |
| État (9) | Représentant ministère (2), Commission européenne (4), Armée (3) |
| Organisation internationale (5) | Diplomate (2), Représentant (3) |
| Coalition d'acteurs privés (1) | Représentant (1) |
| Assurance (1) | Représentant (1) |
| Association (1) | Représentant (1) |

Tableau 4 Répartition des catégories d'acteurs par fonction

La liste des interlocuteurs a été élaboré au fur et à mesure de la recherche, en partie selon le principe du *snowball sampling*, ou de l'effet « boule de neige » (Miles, Huberman 2003; Quinn Patton 2002). Cette méthode consiste à construire l'échantillon d'interviews en contactant un premier cercle d'individus (*seeds*), et de leur demander des mises en contact avec d'autres membres de leur communauté, à qui l'on demande de nouvelles recommandations. Pour Thompson & Collins (2002) : « *an initial sample of members of a rare population are asked to identify other members of the population, those so identified are asked to identify others, and so on, for the purpose of obtaining a nonprobability sample or for constructing a frame from which to sample* » (p. S60). Ce processus se poursuit jusqu'à que le chercheur se trouve face à une saturation, c'est-à-dire à une redondance dans les entretiens. Cette méthode est très répandue en sciences sociales, car elle permet d'échanger avec des communautés difficiles d'accès ou déviantes (Becker 1985), et de reconstituer des réseaux d'individus. Néanmoins, elle pose la question des biais de sélection et de la non-représentativité du réseau identifié (Parker, Scott, Geddes 2019). Par ailleurs, la propension de l'interviewé à fournir des contacts peut dépendre de son ressenti lors de l'entretien, mais également de ce qu'il perçoit du besoin des chercheurs et donc de sa compréhension du projet de recherche. La construction de la liste des

entretiens a relevé en partie d'un *snowball sampling* et, en partie, d'un processus indépendant d'identification des personnes à interviewer.

Pour commencer, nous avons identifié les personnes associées au sujet les plus visibles médiatiquement et les plus accessibles (milieu des ingénieurs français). C'est pour cette raison que nous avons débuté les entretiens par des échanges avec des experts de l'agence spatiale française et des membres de l'industrie française (grandes firmes ou startups). Ces premiers entretiens avec des informateurs clés nous ont fourni un certain nombre de données secondaires ainsi que le contact de leurs homologues, collègues internationaux et personnes « à contacter ». À partir de ces éléments, la recherche a pu être élargie à un second cercle, moins accessible de premier abord et plus international. Nous avons rencontré des membres d'agences spatiales internationales (notamment Japon et Europe), des assureurs, des juristes, des membres d'organisations internationales (associations, coalitions d'acteurs privés, organismes de régulation), des militaires. Une fois les entretiens auprès de ce deuxième cercle réalisés, nous avons pu identifier un troisième cercle et compléter notre matériau avec d'autres agences spatiales (Australie, Chine), d'autres organismes internationaux.

| Type de série | Réalisation | Description |
|---------------------------------------|----------------------------|--|
| Préliminaire (à visée explicative) | juin 2019 - septembre 2019 | Première série menée en France auprès d'informateurs afin de comprendre les grands enjeux du sujet |
| Principale (à visée explicative) | septembre 2019 – juin 2020 | Deuxième série avec diversification des profils et ouverture internationale |
| Complémentaire (à visée théorique) | novembre 2020 – août 2022 | Troisième série avec diversification des profils et élargissement de l'ouverture internationale |

Tableau 5 Détail des trois séries d'entretiens

Une partie de ces entretiens ont été menés en partie en personne. Nous avons ainsi pu visiter à plusieurs reprises les locaux des agences spatiales française, japonaise et européenne, les locaux de plusieurs startups en France et au Japon et nous rendre au siège de la Commission

européenne et au METI à Tokyo. Une grande partie des entretiens a néanmoins été réalisée à distance, en partie à cause de l'épidémie de Covid-19, en partie à cause de la localisation géographique de nos interlocuteurs, par téléphone ou par visio-conférence avec Zoom et Teams. La flexibilité de ces outils nous a permis d'élargir la portée de nos entretiens en permettant des échanges avec des interlocuteurs basés à l'international (Australie, États-Unis, Royaume-Uni, etc.) sans avoir à nous déplacer. Nos échanges avec la Chine se sont quant à eux déroulés par mail.

La majorité des entretiens (35/51) ont été menés à deux, ce qui présente des avantages à la fois pendant et après la rencontre. Au cours de l'entretien, la présence de deux chercheurs facilite la prise de notes et évite l'oubli de questions importantes. Il est également possible de pallier les erreurs de compréhension inhérentes à tout échange, surtout lorsqu'il est chargé en informations. Réaliser les entretiens à deux permet également un échange « sur le vif » qui s'est souvent révélé particulièrement fertile en idées. Il est toujours surprenant de réaliser combien deux personnes peuvent avoir une compréhension et une interprétation différentes des mêmes messages. Lors des entretiens menés seule, une réflexion « sur le vif » a également été menée, au moment de la reprise des notes. Il s'agissait de résumer rapidement les points marquants de l'entretien, les surprises, éventuellement des éléments de langage verbal et non verbal (un décor, une intonation, un rire, un comportement).

Les entretiens ont duré entre une et trois heures. Leur structure était laissée libre, et adaptée en fonction de l'interlocuteur. Une série de questions générales était posée de manière récurrente. Quelques questions types : « participez-vous à des conférences sur les débris spatiaux ? », « comment décririez-vous la communauté des débris ? », « pensez-vous qu'un marché puisse émerger autour du nettoyage spatial ? », « de quelle manière intervenez-vous dans le processus de régulation ? », « quelles sont les controverses et les débats au sein de [organisation] ? », etc. Cette série de questions a évolué au fil de l'enquête. Notamment, les questions sur la compréhension du problème (comportement des objets dans l'espace, risque associé aux débris) étaient fréquentes au début des entretiens, lorsque nous étions encore dans une phase d'apprentissage. Peu à peu, les questions se sont orientées vers les relations entre les acteurs, les controverses, les perspectives de résolution. La dernière série complémentaire a intégré des entretiens dits « à visée théorique », lors desquels nous avons soumis à nos interlocuteurs des éléments de notre propre analyse, afin d'observer leur réaction et de tester notre compréhension du problème (Dumez 2022).

Ces entretiens ont fait l'objet d'une prise de notes systématique. Lorsque les entretiens étaient menés à deux, les prises de notes étaient ensuite comparées et harmonisées pour constituer un compte-rendu final et unique de l'entretien pouvant être pris en compte dans le codage. À plusieurs reprises, l'échange avec les interlocuteurs s'est poursuivi par mail, avec l'envoi de nouvelles données secondaires (PowerPoint, rapports, textes de loi). Ces échanges ont été intégrés dans le matériau et codés avec les entretiens.

Au cours de notre recherche, nous avons pu assister à plusieurs workshops avec des membres de la communauté des débris, notamment dans le cadre de la Secure World Fondation. Par ailleurs, nous avons eu l'opportunité de participer à un projet OCDE qui portait sur la gestion des débris spatiaux. Aux côtés d'autres équipes de chercheurs internationaux, nous avons été impliqués dans l'élaboration d'un rapport international, qui nous a permis de rédiger un des articles de cette thèse (Article 4), tout en faisant de l'observation directe. En effet, nous avons assisté aux réunions de cadrage avec les autres participants, ce qui nous a permis de prendre connaissance d'autres recherches en train de se faire sur le sujet (notamment des recherches en économie, en finance, en physique).

| Évènement | Participants | Type d'observation | Date |
|---|--|--------------------------|----------------------------|
| Workshop Secure World Foundation, « New Actors in the Space Domain: Latin America and the Caribbean » | Représentants d'agences spatiales (Mexique), représentants de l'industrie, des associations, et du monde universitaire | Observation directe | Juin 2020 |
| Workshop IFRI, « Les armées et la dépendance à l'espace » | Membres de l'armée française, membres de l'IFRI (Institut Français des Relations Internationales) | Observation directe | Novembre 2020 |
| Projet OCDE | Représentants d'agences spatiales (CSA, ESA, DLR, NASA), ainsi que des représentants du monde universitaire (EPFL), des firmes (Astroscale) et des associations (Secure World Foundation). | Observation directe | Avril 2021 et octobre 2021 |
| | Doctorants, post-docs et chercheurs d'un ensemble d'universités internationales, membres de l'OCDE. | Observation participante | 2021-2022 |

Tableau 6 Observation directe et participante au cours de la recherche

3. 1. 2. Données secondaires

Les données secondaires occupent une place très importante dans le matériau mobilisé au cours de cette recherche. On en distingue plusieurs sortes : la littérature scientifique spécialisée, les actes de conférences internationales, les documents et rapports officiels (États, agences spatiales), les textes de loi et de standardisation, les analyses des organisations internationales (OCDE, Secure World Foundation, World Economic Forum, Space Safety Coalition), support de présentation (communications commerciales, présentations variées). L'ensemble de ces données constitue un arrière-plan aux entretiens. Nous les avons mobilisées aussi bien au début de la recherche, dans la phase d'exploration, qu'au cours de l'inspection pour faire les allers-retours avec notre grille de lecture théorique.

Ces données nous ont été rendues accessibles de plusieurs manières. D’abord, nos interlocuteurs nous ont tout de suite orienté vers les articles de littérature qui pouvaient nous intéresser et nous ont communiqué de nombreux supports de présentations, de textes normatifs divers, qui venaient illustrer leur propos ou prolonger l’analyse. Ensuite, nous avons pu accéder à beaucoup d’éléments en ligne.

Ont également participé à la collecte de ces données secondaires des « aidants » (Becker, 2020). Au cours de l’année 2020, nous avons encadré le travail d’un binôme d’élèves de troisième année du cycle polytechnicien³, dans le cadre de Module Appliqué en Laboratoire, sur l’analyse de sept projets d’Active Debris Removal. Le travail de documentation réalisé à cette occasion a constitué le point de départ de l’étude, approfondie et étendue à l’ensemble des projets de *servicing* depuis la fin des années 1990, des stratégies d’acteurs autour de la création d’un marché (Article 4).

³ Juliane Hermary et Adèle des Moutis

| Type de données | Exemples |
|--------------------------------|--|
| Littérature scientifique | Articles issus de revues spécialisées comme <i>Acta Astronautica</i> , <i>Advances in Space Research</i> , <i>Journal of Space Safety Engineering</i> , <i>Space Policy</i> Handbooks (e.g. von der Dunk, 2015) Ouvrages de valorisation scientifique (e.g. Bonnal, 2016) |
| Actes de conférences | Actes de la <i>European Conference on Space Debris</i> ; <i>International Astronautical Congress</i> , etc. |
| Rapports officiels | <i>ESA annual's Space Environment Report</i> , 2020 ; <i>OECD Space Sustainability Report</i> , 2020 ; <i>Stratégie spatiale de défense du Ministère des armées</i> , 2019 ; <i>IAA situation Report on Space Debris</i> , 2016 ; <i>IAA Space Traffic Management</i> , 2018, etc. |
| Textes juridiques | Guidelines (<i>IADC Space Debris Mitigation Guidelines</i> ; <i>Space Debris Mitigation Guidelines</i> , COPUOS) Loi Spatiale sur les Opérations Spatiales (LOS) Traités de l'espace (COPUOS) |
| Comptes-rendus | Comptes-rendus officiels de sessions (notamment COPUOS), ou de workshops sur des sujets divers (notamment Secure World Foundation), podcasts |
| Supports de communication | Présentation de projets publics ou privés (notamment lors de sessions du COPUOS ou lors de conférences), communiqués de presse |
| Articles de presse spécialisée | <i>Space News</i> , <i>Space.com</i> , <i>The Conversation</i> , etc. |

Tableau 7 Détail des sources de données secondaires

3. 2. La triangulation et la saturation des données

L'hétérogénéité des données collectées au cours de cette recherche, à la fois primaires et secondaires, a permis leur triangulation, méthode particulièrement importante lors d'une recherche qualitative (Denzin 2017; Jick 1979). La triangulation consiste à recouper les données pour s'assurer de leur pertinence et éviter d'appuyer l'analyse sur un seul point de vue. Le respect de ce principe fondamental pour la recherche qualitative a été assuré de plusieurs

manières dans cette thèse. Nous avons d'abord veillé à échantillonner nos entretiens, afin de s'assurer de recueillir le témoignage de différents points de vue. Nous avons donc essayé de diversifier autant que possible le positionnement de nos interlocuteurs. De fait, nous avons souvent entendu des points de vue très opposés dans les entretiens que nous avons réalisés. Ensuite, nous avons essayé d'organiser l'ensemble de nos données primaires et secondaires sous la forme de séries indépendantes (Dumez, Rigaud 2008). Une des séries indépendantes consiste par exemple en l'étude longitudinale d'une conférence internationale, à travers l'analyse de ses actes, du programme de ses sessions et de la composition de ces participants (Chapitre 6). Cette série a permis de venir enrichir, recouper et vérifier les éléments récoltés au cours des entretiens sur l'évolution du traitement du problème des débris spatiaux, sur l'existence de controverses et la composition de la communauté scientifique. Une autre série a permis d'étudier l'ensemble des programmes spatiaux sur le *servicing* ou le nettoyage de l'espace depuis la fin des années 1990, recoupant les données primaires des entretiens et enrichissant la compréhension du processus de création du marché. Enfin, la dernière série d'entretiens a joué à ce sujet un rôle central. Elle a d'abord permis de réaliser des entretiens « à visée théorique », nous permettant de confronter les résultats issus des premières analyses au jugement des interlocuteurs et d'observer leur réaction. Ensuite, elle a permis de confirmer la saturation de la recherche, le contenu des entretiens ne comportant plus d'éléments nouveaux et surprenants.

3. 3. Analyse des données

Les séries de données primaires et secondaires collectées représentaient un matériau non seulement conséquent en volume, mais également particulièrement hétérogène. Les entretiens mélangeaient parfois des explications très techniques et des considérations globales sur le problème, la description détaillée du système juridique et l'évocation des possibles scénarios d'évolution du problème. Afin de traiter l'ensemble de ces données, nous avons procédé à un codage multithématique, articulé avec la rédaction de mémos empiriques, complétée par plusieurs relectures en attention flottante.

Le codage consiste à quadriller un vaste ensemble, souvent chaotique, de données hétérogènes pour réussir à comprendre le phénomène empirique et à faire émerger des éléments d'analyse. Le codage résulte d'un double-mouvement : il s'agit d'abord d'identifier des unités de sens (groupes de mots ou de phrases) et ensuite de les associer au sein de différents ensembles. Une

même unité de sens pouvant appartenir à plusieurs ensembles, le codage doit donc être de nature multinominal. Par ailleurs, le volume et la diversité des données est parfois tel qu'il semble impossible de procéder directement au codage. Ayache & Dumez (2011) proposent une autre démarche, multithématique, qui consiste à découper le matériau en plusieurs thèmes, puis à coder chacun de ces thèmes. C'est de cette manière que nous avons procédé, en identifiant six grands thèmes : la régulation, le marché des déchets, la communauté des déchets, les grandes étapes de l'émergence du problème, le parcours des individus rencontrés, la structure du paysage institutionnel. Chacun a fait l'objet d'un codage multinominal, permettant de faire apparaître plusieurs niveaux de codes.

Face à la densité de notre matériau, nous avons eu besoin de nous appuyer, en parallèle du codage, sur un autre outil méthodologique : la rédaction de mémos empiriques. Les mémos constituent un outil articulé avec le codage : « *Memo-writing is an intermediate stage between data collection and write-up and involves the detailed capturing of the researcher's thoughts, hunches, interpretations and decision-making throughout the analysis.* » (Tweed & Charmaz, 2011, p. 132). Chacun des thèmes identifiés a fait l'objet d'un mémo d'une dizaine de pages, dans lequel on racontait très librement ce que l'on avait perçu des échanges avec les acteurs sur ce sujet, en distinguant les verbatims marquants, en soulignant les premières surprises. Cette version narrative du codage nous a permis de faire émerger plusieurs faits surprenants, et d'enrichir l'analyse.

Notre matériau restant très varié, nous avons procédé à une relecture complète de nos données en attention flottante, c'est-à-dire de manière continue, attentive mais sans coder. L'attention flottante est un concept qui vient de Freud. : « *On économise ainsi un effort d'attention qu'on ne saurait maintenir quotidiennement des heures durant et l'on échappe aussi au danger inséparable de toute attention voulue, celui de choisir parmi les matériaux fournis. C'est, en effet, ce qui arrive quand on fixe à dessein son attention ; l'analyste grave en sa mémoire tel point qui le frappe, en élimine tel autre et ce choix est dicté par des expectatives ou des tendances. C'est justement ce qu'il faut éviter ; en conformant son choix à son expectative, l'on court le risque de ne trouver que ce qu'on savait d'avance* » (Freud, 1967, p. 62 ; cité par Ayache & Dumez, 2011). Elle apparaît comme une solution au risque de circularité. Ce processus a été réalisé par deux chercheurs, afin de confronter les résultats.

3. 4. Les limites et les risques méthodologiques

Plusieurs limites et risques méthodologiques sont apparus au cours de cette recherche. D’abord, nous constatons un biais géographique au sein de notre échantillon d’entretiens, qui est lié de manière plus générale au contexte politique et diplomatique mondial (3.4.1). Ensuite, la complexité du problème présente en soi une forme de limites (3.4.2).

3. 4. 1. Problèmes liés au contexte politique et diplomatique

Les débris spatiaux constituent un problème global, qui concerne et implique l’ensemble des acteurs de l’espace, parmi lesquels une majorité d’États. Notre recherche a donc été pensée, dès le commencement, comme devant se déployer à l’échelle internationale. Toutefois, certains pays nous sont restés inaccessibles, notamment la Russie et la Chine, pourtant les deux plus grandes puissances spatiales après les États-Unis. Un entretien a été obtenu avec la Chine et s’est déroulé par mail. Cet échec peut s’expliquer de plusieurs manières. Dans ces pays, l’activité spatiale est centralisée par l’État, ce qui rend difficile la distinction entre ce qui relève du civil et du militaire. Difficile, donc de contourner les dimensions de défense en s’adressant directement à l’industrie ou à des scientifiques. Du moins, nos démarches n’ont pas été suivies de résultats. De manière générale, ces pays sont connus pour leur discrétion au sujet des débris spatiaux. Néanmoins, nous avons pu collecter des informations indirectes sur l’activité de ces deux pays, à travers les témoignages de nos interlocuteurs.

Par ailleurs, une deuxième limite de notre échantillon repose sur le biais par rapport à la France. Plus de la moitié de nos entretiens ont été réalisés auprès d’interlocuteurs membres d’organisations ou d’institutions françaises. Nous avons conscience de cet effet de biais, qui est lié à des questions d’accessibilité. Ainsi, nous avons pu échanger avec plusieurs membres de l’armée française et de la DGA, ce qui aurait été difficile dans d’autres pays. Par ailleurs, la France se positionne comme un pays pionnier sur la problématique des débris spatiaux et dispose donc de nombreux experts scientifiques et juridiques.

3. 4. 2. Problèmes liés à la complexité du problème

Un autre ensemble de limites renvoie à la nature du problème lui-même. Nous avons été confrontés, dès le commencement de cette thèse, à la complexité scientifique de ce cas et la nécessité de réussir à comprendre des phénomènes physiques complexes. Cet éloignement initial entre les chercheurs et leur objet de recherche est une dimension importante de cette

recherche. Comment gérer son ignorance, ou sa difficulté à comprendre un langage scientifique ? Une partie de nos données secondaires est constituée par des actes de conférences et des articles scientifiques, qu'il nous a fallu littéralement déchiffrer au cours de la recherche. Ce processus s'est parfois révélé déstabilisant. D'un autre côté, la naïveté face à l'objet de recherche dans laquelle cette thèse a débuté a également constitué un atout, nous « autorisant » de poser des questions très simples à nos interlocuteurs. Le problème des débris spatiaux n'est pas seulement scientifique, au sens de physique. C'est également un problème de droit et d'économie. Notre recherche a donc été complétée par des lectures dans ces deux disciplines. Enfin, le cas concerne un phénomène émergent. La gestion des débris spatiaux est encore aujourd'hui teintée d'incertitudes et de tâtonnements. Au cours de la thèse, nous avons assisté à la faillite de méga-constellations prometteuses et à leur résurrection, au développement de projets de space tugs civils qui se sont transformés en projets de défense, à la création d'une agence spatiale de l'Union Européenne, à plusieurs lancements de démonstration d'Active Debris Removal, à des tirs de missiles antisatellites, etc. L'objet empirique, en plus d'être complexe, s'est donc révélé mouvant, rendant l'analyse du phénomène parfois difficile.

Afin de mener à bien cette recherche, nous avons collecté des données primaires (entretiens, observations) et secondaires (littérature, rapports, textes de lois, etc.), qui ont été organisées sous la forme de séries indépendantes afin d'assurer leur triangulation. Ensuite, ces données ont fait l'objet de mémos empiriques avant d'être traitées à travers un processus de codage multithématique et multinominal, renforcé par plusieurs lectures en attention flottante. La diversité des données collectées et de leur mode de traitement a permis d'analyser ce phénomène empirique complexe et singulier que constitue le cas des débris spatiaux.

Conclusion du Chapitre 1.

Cette thèse repose sur une étude de cas unique d'un problème global particulièrement complexe : le cas des débris spatiaux. Ce type d'objet empirique a représenté un défi méthodologique, du fait du nombre et de l'hétérogénéité des parties prenantes, de la diversité de leur conception du problème, lui-même particulièrement incertain et en constante évolution. Pour étudier ce type de problème, il a semblé nécessaire d'avoir recours à un design de recherche flexible, et de procéder à plusieurs explorations du problème selon des niveaux

d'analyse et des approches méthodologiques différentes. Le travail doctoral a consisté en une collecte de données primaires, composées principalement de plusieurs séries d'entretiens auprès d'acteurs impliqués dans le problème des débris spatiaux, ainsi que de nombreuses données secondaires, organisées de manière à assurer leur triangulation. Ces données ont principalement été traitées par un processus de codage. La confrontation avec les cadres théoriques a permis de faire apparaître des faits surprenants.

Chapitre 2 – Description du cas des débris spatiaux

Ce chapitre a pour objectif de décrire le cas des débris spatiaux, ce qui implique de donner à voir d'une part les caractéristiques du phénomène physique (i.e. la manière dont les débris se forment, dont ils prolifèrent et dont ils contaminent d'autres satellites), et d'autre part la manière dont le problème est perçu par les acteurs (i.e. émergence du problème, implication des acteurs, interactions et mécanismes de gestion). Ces deux approches sont aussi nécessaires l'une que l'autre pour la compréhension du cas mais elles ne peuvent pas être combinées dans une même description. Pour cette raison, nous avons choisi de procéder en deux temps. D'abord, nous décrivons les caractéristiques physiques du phénomène, à partir du point de vue de l'objet (1). Ensuite, nous changeons de point de vue et observons les débris de la manière dont ils ont été envisagés par les acteurs, depuis leur apparition jusqu'à aujourd'hui (2).

1. Prélude : les caractéristiques des débris spatiaux, de leur point de vue⁴

Imaginons, dans un espace infiniment vide et noir, que vous soyez un écrou de quelques centimètres de long. Que faites-vous là ? Peut-être avez-vous échappé à la surveillance de l'astronaute qui vous manipulait lors d'une sortie extravéhiculaire, ou peut-être avez-vous été détaché de votre satellite lors d'un accident en orbite. Qu'importe votre origine, vous vous déplacez à une vitesse de 8km/seconde soit 28800 km/heure. À cette allure, le moindre changement de trajectoire requiert énormément d'énergie, énergie que vous n'êtes pas en mesure de fournir puisque vous êtes un objet artificiel inactif. Vous êtes donc condamné à suivre la trajectoire qui vous est assignée par l'astre autour duquel vous gravitez, en l'occurrence la Terre. Vous tournez autour du globe, en suivant un axe elliptique qu'on appelle orbite. Si vous restiez des années à tourner sur cette orbite sans perturbation extérieure (personne n'est à l'abri d'une éruption solaire), votre trajectoire finirait inmanquablement par se modifier. Un frottement résiduel de l'atmosphère vous ferait peu à peu perdre de la vitesse, jusqu'à vous précipiter dans l'atmosphère. Cette chute pourrait survenir plus ou moins tôt en fonction de votre altitude. Si vous êtes sur une orbite géostationnaire à plus de 36 000 km

⁴ Ce prélude s'inspire du chapitre de *Océan plastique, enquête sur une pollution globale* de Nelly Pons dans lequel elle raconte la pollution plastique à travers la vie d'un fulmar des mers du Nord.

d'altitude, il s'écoulerait peut-être plusieurs centaines d'années avant que cela ne vous arrive. Mais si vous voguez sous la barre des 2 000 kilomètres d'altitude, en orbite basse, en quelques années ou même en quelques mois le frottement résiduel aura fait son travail. Vous voilà en train de retomber. Comme vous êtes assez petit, vous allez certainement vous consumer dans l'atmosphère et disparaître avant d'atteindre la surface du globe. Vous auriez alors vécu l'existence de la plupart des débris spatiaux.

Revenons en arrière. Vous êtes un écrou et vous coulez une vie tranquille sur votre orbite elliptique autour de la Terre. Vous vous sentez certainement très seul, et pour cause, l'espace est immensément vide et la quantité d'objets solides qui s'y promène proportionnellement très faible. Mais si vous restez suffisamment longtemps sur votre orbite, ou si vous êtes simplement chanceux (ou malchanceux, c'est selon), vous pourriez, un jour ou l'autre, finir par apercevoir un autre objet artificiel. Peut-être un écrou, comme vous, ou bien un satellite en panne ou même un satellite actif. Cet autre objet suivra une autre trajectoire que la vôtre, son altitude sera légèrement différente et il tournera peut-être dans un autre sens. Seulement, vos deux orbites pourraient se croiser en un ou plusieurs points. Si c'est le cas, il y a toujours assez peu de chances pour que vous vous approchiez véritablement l'un de l'autre. Mais, hasard des trajectoires et des calendriers, il se pourrait aussi que vous vous retrouviez au même moment à l'endroit où se croisent vos orbites. Ce qui se passerait ensuite dépend de votre taille à tous les deux. Admettons que vous soyez toujours un écrou, et que vous percutiez un gros satellite. Si son blindage est suffisamment résistant, vous ne lui infligeriez qu'un dommage superficiel. En revanche, si vous percutiez un endroit non protégé, vous pourriez lui être fatal. Imaginons à présent que vous soyez, non plus un écrou, mais un satellite des années 1980. Cela fait des années que vous avez cessé d'émettre et que vous dérivez dans le silence de l'espace. Comme l'écrou, vous vous déplacez à la vitesse de 8km/s sur une orbite terrestre de forme elliptique. Comme lui, vous pourriez, d'ici là, croiser la route d'autres objets. Seulement, vu votre taille et votre poids, les conséquences de cette collision seraient autrement plus graves. Souvenez-vous, vous vous déplacez à une vitesse de 8 km par seconde, soit 28 800 km/h. À cette vitesse, une collision ne ressemble en rien au plus spectaculaire des carambolages sur Terre. Il ne s'agit pas d'une explosion mais d'une implosion, silencieuse car nous sommes dans l'espace, lors de laquelle les objets se fragmentent en des centaines voire des milliers de nouveaux petits objets. Le passage de la ceinture atmosphérique ne se passera pas non plus de la même manière que vous soyez un écrou ou un satellite entier. Dans ce dernier cas, il se pourrait que certains de vos composants résistent aux très hautes températures, traversent l'atmosphère et tombent dans

l’océan ou bien, ce qui est plus rare, s’écrasent sur la terre ferme et soient découverts par des fermiers bretons sur une île de la mer d’Iroise ou dans un pré à moutons en Australie⁵.

Nous pourrions compliquer cette expérience de pensée en faisant varier l’ensemble des paramètres, l’altitude et la taille des objets, le temps qu’ils ont déjà passé dans l’espace, afin de mesurer la probabilité qu’ils entrent en collision et surtout les conséquences de l’impact. L’intention de ce prélude est moins ambitieuse : il s’agit de donner à voir, de manière imagée, les propriétés physiques des objets spatiaux et le comportement des débris, afin de permettre au lecteur d’aborder les chapitres suivants sans être embarrassé de questions techniques.

2. Description-narration du cas des débris spatiaux

Après avoir présenté le comportement des débris spatiaux, nous décrivons à présent l’émergence et l’évolution du problème selon le point de vue des acteurs. Avant de débiter cette description-narration, il faut remonter au moment de la découverte de l’existence des débris et leur lien avec l’étude des météoroïdes (2.1). Ensuite, on voit que les débris spatiaux ont fait l’objet de plusieurs « voir comme » qui se sont diversifiés et complexifiés au fil du temps. À partir de la publication de l’article fondateur de Kessler et Cour-Palais en 1978, les débris spatiaux ont été envisagés comme un nouvel objet d’étude scientifique (2.2). Avec la création de l’IADC, en 1993, ils deviennent également un objet de régulation (2.3). Les deux accidents de 2007 et 2009 les transforment en problème de gestion global, impliquant aussi bien des acteurs publics que privés (2.4). Enfin, depuis 2015 et l’arrivée des méga-constellations, les débris spatiaux sont également vus comme une potentielle source d’opportunité (2.5).

⁵ En avril 2018, des habitants de l’île de Quémènes trouvent le nez d’une fusée SpaceX en se promenant https://twitter.com/quemenes_iroise/status/984775154369785857 En août 2022. En 2022, des fermiers australiens découvrent un débris dans leur champ <https://www.nytimes.com/2022/08/04/world/australia/spacex-debris-australia.html>

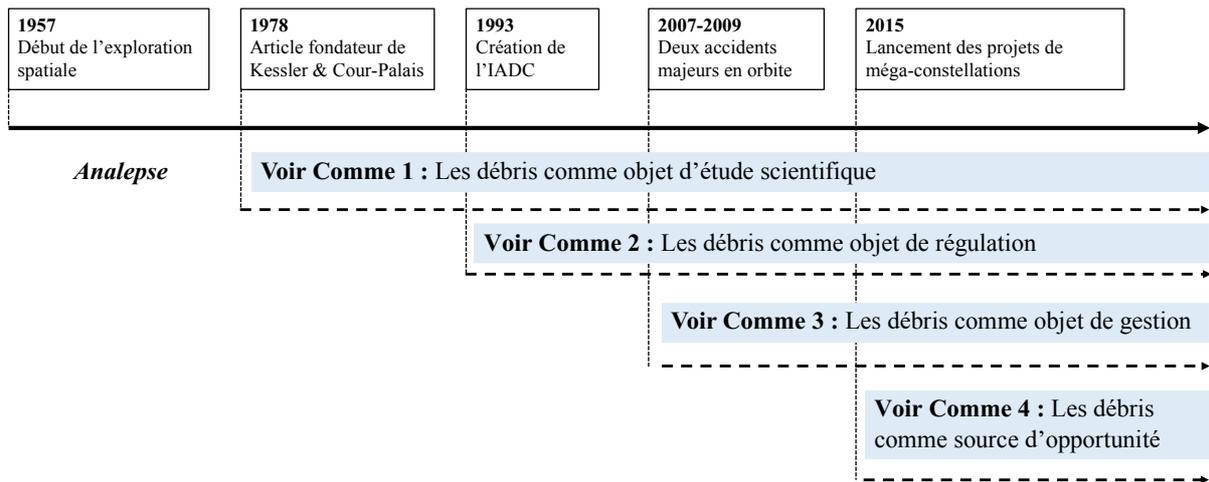


Figure 1 Approche chronologique des « voir comme » dans le problème des débris spatiaux

2.1. Analepse : des météoroïdes aux débris spatiaux

Si notre narration-description débute avec la parution de l'article fondateur de Kessler et Cour-Palais en 1978, il est nécessaire de remonter plus loin en arrière pour comprendre ce qui a mené à l'apparition de ce premier point de basculement. Avant que le débris ne devienne un objet d'étude scientifique, il a d'abord fallu que le phénomène soit remarqué et compris.

L'apparition du premier débris spatial coïncide exactement avec le lancement du tout premier satellite en orbite, le 4 octobre 1958. En effet, la poussée nécessaire pour propulser un objet dans l'espace est obtenue grâce à de grosses fusées appelées lanceurs, auxquelles le satellite est attaché. Elles lui permettent non seulement de s'arracher du sol mais également d'être conduit sur son orbite à l'emplacement qui lui est destiné. Une fois cette opération réalisée, le lanceur, devenu inutile, se détache du satellite. Inactif et incontrôlable, il poursuit son voyage dans l'espace, avant que le frottement résiduel ne le fasse retomber dans l'atmosphère. Ainsi, le lanceur R-7 qui permit de mettre Spoutnik 1 en orbite devint, le jour même de son lancement, le tout premier débris spatial. Il fut rejoint, 21 jours plus tard, par Spoutnik lui-même. Au moment où il cessa d'émettre ses signaux de radio, le satellite soviétique se transforma à son tour en objet artificiel inactif, jusqu'à sa rentrée dans l'atmosphère le 4 janvier 1958. Les missions suivantes se dérouleront toutes de la même manière, produisant à chaque fois de nouveaux déchets, lanceurs, satellites hors d'usage, objets égarés pendant les manœuvres, comme cet appareil photo qui échappa à l'astronaute Michael Collins lors d'une sortie

extravéhiculaire pendant la mission Gemini. Jusqu'à ce qu'ils retombent dans l'atmosphère, ces objets artificiels inactifs endossent le statut de débris spatiaux.

En juin 1961, l'étage supérieur du satellite américain Able Star explose en orbite. C'est la première fois dans l'histoire spatiale qu'un objet artificiel explose en orbite de manière involontaire. L'accident génère un nuage d'au moins 300 débris, dont la plupart resteront en orbite plus de trente ans. Cet événement marque le secteur spatial et plus particulièrement les experts d'agences spatiales car il révèle une nouvelle caractéristique des débris spatiaux : leur capacité de prolifération. Les débris ne sont pas uniquement des lanceurs, des satellites ou des objets entiers attendant de rentrer dans l'atmosphère : ils peuvent être créés de manière incontrôlable et non intentionnelle lors d'explosions en orbite qui génèrent une fragmentation ou un nuage de nouveaux débris. Cette caractéristique les rapproche d'autres objets spatiaux qui font, depuis longtemps déjà, l'objet d'études au sein des agences spatiales.

En effet, les débris spatiaux ne sont pas les premiers objets inactifs dans l'espace à être considérés comme des déchets et à avoir tendance à proliférer. Il existe, dans le système solaire, une multitude de corps solides, comme les comètes ou les astéroïdes, qui sont considérés comme des débris naturels. Ces petits corps célestes, ou planètes mineures, sont composés de roches, de glaces et de métaux. Parfois, ils génèrent des fragments appelés des météoroïdes. En tombant dans l'atmosphère, les météoroïdes forment des traînées lumineuses, que l'on peut apercevoir dans le ciel certains soirs d'été. Parfois même, ils résistent à la chaleur de l'atmosphère, la traversent, et s'écrasent sur Terre. Avant même le début de la conquête spatiale, les scientifiques ont imaginé que ces objets volants naturels pouvaient représenter un danger pour les missions spatiales. En 1947, l'astronome Fred Whipple imaginait le « Whipple Bumper Shield », un bouclier permettant de protéger satellites et vaisseaux spatiaux contre les impacts de météoroïdes ou autres débris naturels (Portree & Loftus, 1993, p. 16). Selon Whipple, un satellite en route pour la Lune aurait eu une chance sur vingt-cinq d'être détruit par un météoroïde (Abbott, 1995). Au moment de l'apparition des tout premiers débris spatiaux, l'attention des experts des agences spatiales est concentrée sur l'étude de ces débris naturels, ou météoroïdes. C'est pour cette raison qu'au cours des années 1970, les premiers articles scientifiques publiés sur la probabilité des collisions et sur les flux de débris utilisent des méthodes et des notions issues du champ de recherche des météoroïdes (Bess 1975; Brooks, Bess, Gibson 1974; Brownlee et al. 1974).

Cette période de découverte scientifique, qui passe par l'analogie entre débris spatiaux et météoroïdes, atteint son point culminant avec la publication, en 1978, dans le *Journal of*

Geophysical Research, d'un article de Donald. J. Kessler et Burt Cour-Palais, deux experts à la NASA (Kessler, Cour-Palais 1978). En s'inspirant des projections statistiques faites sur les météoroïdes, les deux auteurs proposent un modèle mathématique montrant que l'augmentation du nombre de débris artificiels en orbite pourrait causer un phénomène de collisions en chaîne. Cet article a un fort retentissement dès le moment de sa parution. Les résultats sont purement théoriques et les projections sont appuyées sur des données statistiques fragiles, mais ce qu'ils laissent à voir de l'évolution de l'environnement orbital a de quoi ébranler les plus sceptiques. La NASA réagit immédiatement et accorde 70 millions de dollars de budget à Kessler pour rassembler une équipe consacrée, au sein du Johnston Space Center à Houston, à approfondir ses recherches sur les débris orbitaux. À partir de ce moment, les débris spatiaux deviennent un objet d'étude scientifique à part entière.

2.2. Les débris spatiaux comme objet d'étude scientifique (1978-1993)

Les débris spatiaux vont d'abord être envisagés comme un nouvel objet d'étude, d'abord au sein de quelques agences spatiales, dont les recherches vont progressivement permettre d'étoffer la connaissance du phénomène.

D'abord, l'existence des débris est confirmée par des observations empiriques. Les capsules de plusieurs missions spatiales américaines qui avaient été équipées de capteurs pour étudier les impacts de météoroïdes au moment de leur lancement dans les années 1970 ont été récupérées et analysées. Au cours de leur séjour en orbite, les hublots ont été percutés par des fragments d'objets. Lors de l'analyse, on découvre qu'une partie des fragments qui ont causé les impacts contiennent de l'aluminium. Or l'aluminium est un métal qui n'existe pas dans l'espace. Dans leur chronologie, Portree & Loftus expliquent : *“This year [1980] Herbert Zook, Uel Clanton, and Richard Schultz, all of the Geology Branch, Planetary and Earth Sciences Division, JSC, analyze impact pits in the Skylab 4 Apollo CSM windows. Zook and Schultz count and measure the pits. Clanton then uses SEM analysis to determine that half of the pits (pre-dominantly the smallest) are lined with aluminum expelled from solid rocket motors. They conclude that, in their size range (smaller than 30 microns), aluminum particles already outnumber meteoroids in near-Earth.”* (Portree & Loftus, 1993, p. 31). On obtient la preuve empirique qu'il existe en orbite non seulement des débris naturels mais également des débris artificiels, mais surtout que ces débris artificiels présentent un risque encore plus important que les météoroïdes pour l'activité spatiale.

L'étude du problème s'organise d'abord aux États-Unis. En 1981, l'AIAA (American Institute of Aeronautics and Astronautics), une des principales organisations scientifiques spatiales, fait paraître le premier *position paper* reconnaissant l'existence d'un problème commun lié aux débris et alertant sur les conséquences à venir. Un dialogue entre les experts de la NASA et les départements de la Défense (DOD) et des Transports (DOT) se met en place. Donald Kessler organise également un « Orbital Debris Workshop » en 1982, qui attire plus d'une centaine de participants, industriels et représentants du gouvernement. Dans un article rétrospectif, Kessler explique : « *With new data becoming available and new people becoming involved with various levels of interest, we needed to develop a common starting pot.* » (Kessler, 1993, p. 18). En 1984, Kessler et Cour-Palais réussissent même à publier une première norme, la JSC 20001 (« Orbital Debris Environment for Space Station »). Le tir de missile anti-satellite réalisé par les États-Unis en 1985 fut également un des pivots dans l'histoire de l'institutionnalisation américaine. Cette année-là, l'attention de l'administration américaine est attirée par le satellite Solwind, qui étudie le rayonnement solaire depuis 1979 et dont certaines capacités sont en train de devenir obsolètes. Contre l'avis des experts de la NASA, la décision est prise de détruire le satellite en réalisant un tir de missile qui génère un nuage de 285 débris spatiaux. Cet événement suscite une réaction au sein du monde scientifique, administratif et politique américain et conduira à l'inscription de la question des débris dans la directive présidentielle sur la politique spatiale signée par le président Reagan en 1988.

Le problème commence également à attirer l'attention en Europe. En 1985, Walter Flury, un ingénieur suisse travaillant pour l'ESA, organise l'« International Workshop on Re-entry of Space Debris », premier rassemblement européen sur le sujet. Le 13 novembre 1986, le premier étage du lanceur Ariane 1 et le satellite SPOT explosent en vol et génèrent un nuage de débris immédiatement repéré par un radar en Floride. La NASA informe immédiatement l'ESA de l'accident. Cet événement marque le début d'une longue collaboration, à travers des rencontres bi-annuelles qui se tiennent en alternance en France et aux États-Unis. Flury mène entre 1987 et 1989 une étude d'envergure auprès d'industriels (Safe Disposal of Orbiting Systems and Spacecraft), afin de comprendre l'impact et l'influence des débris sur leur activité. Son rapport propose des recommandations précises et ambitieuses (« *Space systems (...) shall be designed for either a controlled destructive re-entry into the atmosphere or a retrieval to earth, the latter one being the preferred solution* », SAFE study, p. 648) et donne même lieu à un standard européen, le PSS-01-40, qui restera lettre morte.

L'intensification des collaborations scientifiques des deux côtés de l'Atlantique, l'intérêt croissant des États pour la question des débris et l'augmentation des recherches sur le phénomène au sein des agences spatiales mènent à la création, en 1993, de l'Inter-Agency Debris Committee. L'IADC est le fruit d'un étroit dialogue entre la NASA, l'ESA, les agences japonaise et russe, rapidement rejointes par la Chine, la France, le Royaume-Uni et l'Inde. Cet organisme international est composé d'agences spatiales représentées par des experts. Sa mission est de promouvoir la coopération entre les parties prenantes : « *The primary purpose of IADC is to exchange information on space debris research activities between member space agencies, to facilitate opportunities for cooperation in space debris research, to review the progress of ongoing cooperative activities and to identify debris mitigation options* » (IADC, Terms of Reference, 2016). En 1993 a d'ailleurs lieu la première European Conference on Space Debris, qui deviendra un rendez-vous majeur de la communauté scientifique au fil des années.

La création de l'IADC constitue un moment de bascule à plusieurs égards. En tant que premier organisme scientifique international consacré au sujet, son objectif est de produire des connaissances sur le phénomène. Sa mise en place vient confirmer et renforcer la perception par les agences spatiales et les États du débris comme un objet d'étude scientifique. En même temps, l'IADC se fixe également pour but de produire des règles d'utilisation de l'espace, afin d'éviter la production et la prolifération des débris. La création de cet organisme révèle une nouvelle manière de voir les débris spatiaux. En plus d'être un objet d'étude scientifique, les débris sont également perçus des objets de régulation.

2.3. Les débris spatiaux comme objet de régulation (1993-2007)

À partir du milieu des années 1990, les débris spatiaux font l'objet de nombreux textes de régulation, de forme et de contenu variés. D'un objet d'étude occupant principalement des scientifiques et des experts, les débris spatiaux vont être transférés dans la sphère politique et étatique où ils vont devenir un objet de régulation.

La NASA a été la première à adopter un standard en 1995, suivi de près par la NASDA, ancien nom de l'agence spatiale japonaise, en 1996. La création de ces premiers standards coïncide avec la première destruction d'un satellite par un débris. En 1996, le microsatellite militaire français Cerise est percuté par un débris du dernier étage de la fusée Ariane 4, qui avait explosé dix ans plus tôt. Cerise est le premier satellite actif endommagé de manière certaine par un

débris artificiel, créé accidentellement au cours d'une activité spatiale. Sa mise hors service confirme l'importance d'empêcher la formation de nouveaux débris en orbite. En 1999, le CNES adopte un premier standard, qui sert de base à l'ESA pour élaborer en 2002 le European Space Debris Mitigation Standard (Alby et al. 2001), repris en 2004 sous la forme d'un European Code of Conduct. Ces standards nationaux préconisent de ne pas rester plus d'un certain temps en orbite, veiller à vidanger les satellites en fin de vie pour éviter qu'ils n'exploient, déplacer les satellites en fin de vie sur des orbites cimetières pour éviter l'encombrement.

Parallèlement au développement de ces standards, les experts d'agences spatiales qui siègent à l'IADC élaborent un premier ensemble de recommandations. Ils travaillent pendant plus de cinq ans pour atteindre un consensus sur des guidelines, qui finissent par être unanimement approuvées. En 2002 paraissent les « IADC Space Debris Mitigation Guidelines ». La multiplication des standards nationaux, d'une part et les guidelines de l'IADC, d'autre part, vont servir à préparer le terrain pour les premières réglementations internationales.

En effet, en même temps que la création de l'IADC en 1993, le sujet des débris spatiaux a été introduit comme sujet d'intérêt dans un des sous-comités du Committee on the Peaceful Uses of Outer Space (COPUOS), l'organe de l'ONU en charge des affaires spatiales. En s'appuyant sur les guidelines de l'IADC, les pays membres vont réussir à adopter à l'unanimité en 2007 un ensemble de guidelines. Ce texte reste le premier standard international à entrer en vigueur.

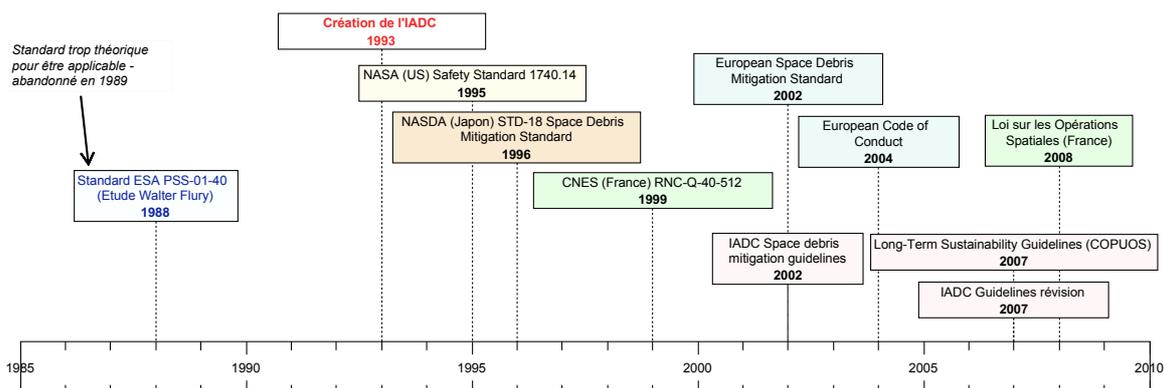


Figure 2 Évolution de la régulation sur les débris spatiaux (1993-2007)

Certains pays reprennent ces exigences pour les faire entrer dans leur droit national. Le contenu et le degré d'exigence de ces lois peuvent varier d'un pays à l'autre. Les États-Unis ont été les

premiers à légiférer et disposent certainement du corpus législatif le plus abouti. Au niveau européen, la Suède, la Norvège et le Royaume-Uni. se sont rapidement dotés de textes de loi. Ce dernier fonctionne sur un système de *licensing*, particulièrement souple. En 2008, la France, le premier État lanceur en Europe, fait voter la Loi sur les Opérations Spatiales (LOS) concernant les activités privées dans l'espace et qui comporte un passage consacré aux débris spatiaux.

Les débris ont commencé à faire l'objet de réglementations, nationales, internationales, contraignantes ou volontaires, dès le début des années 1990⁶. À partir de 1996 et pour une décennie, leur taux de croissance, en constante augmentation depuis les années 1960, va même se stabiliser⁷ (Hall 2014). Par ailleurs, l'arrivée des réglementations transforme les débris spatiaux en un objet d'étude pour les juristes. On voit paraître de la littérature sur le statut et la définition des débris spatiaux dans le droit spatial (Bird 2003).

Le 11 janvier 2007, Feng-Yun-1C, un vieux satellite météorologique chinois est détruit par un missile de l'armée chinoise. Cet évènement constitue un tournant dans l'évolution de la population des débris spatiaux. L'explosion génère plus de trois mille nouveaux débris, faisant bondir le nombre de débris en orbite basse de près de 30 %. La Chine rejoint la Russie et les États-Unis dans le trio de tête des pays responsables du plus grand nombre de débris. Ce tir met également en évidence la faiblesse des guidelines internationales et du droit spatial pour empêcher ce type de comportements délétères en orbite. En effet, la Chine a des représentants à l'IADC et siège au COPUOS où sa délégation a approuvé les Space Debris Mitigation guidelines de 2007, ce qui n'a pas empêché la réalisation du tir de missile. Par ailleurs, les tentatives pour démontrer que la Chine avait enfreint les grands traités sont restées lettre morte : juridiquement, ces tirs ne sont pas interdits par le droit spatial. Il faut trouver d'autres manières d'inciter les États à respecter les réglementations. Suite au tir chinois, un mécanisme de *naming and shaming* est mis en place. Plusieurs pays montrent diplomatiquement la Chine du doigt et dénoncent le recours aux tirs ASAT.

⁶ https://kineticspacesafety.com/wp-content/uploads/2022/05/KSSW_Slides_Bonnal.pdf

⁷ Voir slide 11 de la présentation https://swfound.org/media/99971/wright-space-debris_situation.pdf, cité par Hall, 2014, p. 6.

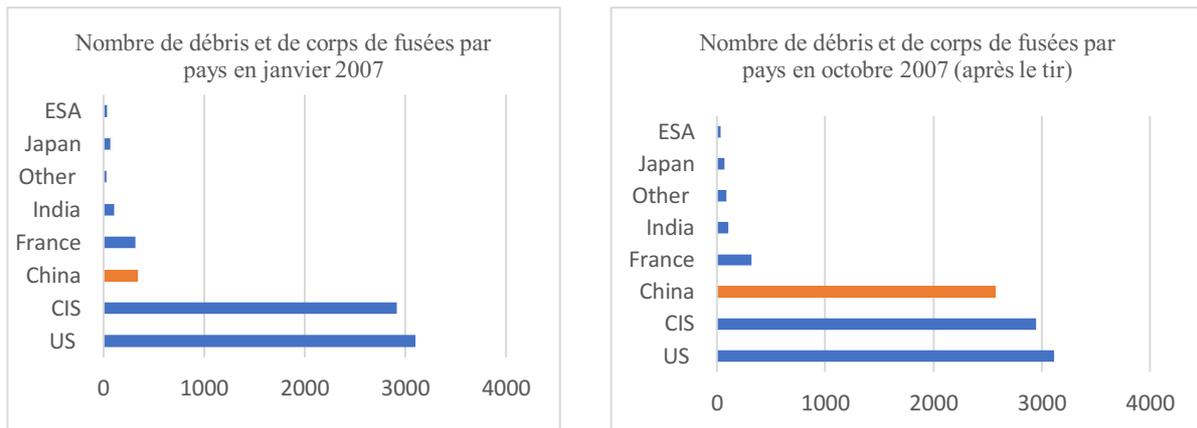


Figure 3 Répartition du nombre de débris avant et après la destruction de Feng-Yun1C

Source : NASA Orbital Debris Quarterly News

Un autre évènement majeur, qui survient deux ans après le tir de missile de la Chine, va contribuer à faire apparaître une nouvelle dimension du problème des débris. Le 10 février 2009, le satellite américain de télécommunication privé Iridium 33 entre en collision avec le satellite russe déclassifié Cosmos 2251 à une vitesse de 11 km par secondes. Les deux satellites sont complètement détruits. Cette collision bat un record jusqu'à présent inégalé en générant d'un coup trois mille cinq cents nouveaux débris répertoriés. L'addition de ces deux accidents va induire un changement radical dans la perception du danger associé aux débris, dans les modes de représentations des débris spatiaux, dans les modes d'action envisagés pour y faire face. Apparaît un nouveau « voir comme » des débris spatiaux, qui deviennent aux yeux des parties prenantes un problème de gestion global.

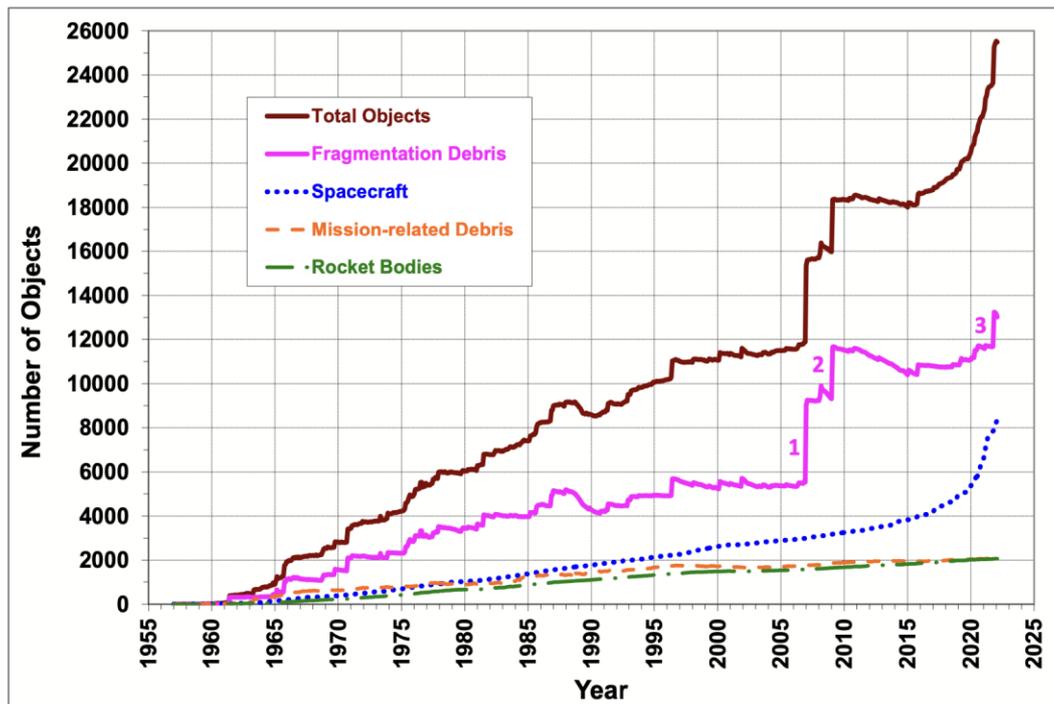


Figure 4. Historical increase of the cataloged objects based on data available on 1 March 2022. The three upward jumps in fragmentation debris correspond to (1) the ASAT test conducted by China in 2007, (2) the accidental collision between Iridium 33 and Cosmos 2251 in 2009, and (3) the ASAT test conducted by the Russian Federation in November 2021. More Cosmos 1408 fragments are expected to be added to the catalog in the coming weeks and months.

Figure 4 Évolution du nombre d'objets en orbite

Source : NASA <https://orbitaldebris.jsc.nasa.gov/quarterly-news/pdfs/odqnv26i1.pdf>

2.4. Les débris spatiaux comme objet de gestion pour les acteurs (2007-2015)

Ces deux accidents ont marqué un moment de basculement dans l'histoire des débris spatiaux. D'abord, ils permettent de revoir et d'élargir la définition des parties prenantes du problème, en intégrant les acteurs privés, qui commencent à jouer un rôle important dans la régulation. Ensuite, ils apportent la preuve tangible que des accidents ou des collisions très graves peuvent se produire en orbite, avec d'importantes conséquences sur l'activité des acteurs spatiaux. Le problème ne peut donc plus être seulement envisagé comme un objet d'étude scientifique, ni comme un objet de régulation. Il s'agit de développer des solutions techniques concrètes au problème, à travers les moyens de surveillance de l'espace, l'amélioration des protections des satellites et le nettoyage des orbites.

Jusqu'à présent, les débris spatiaux concernaient principalement les agences spatiales et les États, auteurs et principaux destinataires des régulations mises en place. La collision entre Iridium et Cosmos en 2009 apporte la preuve que les débris spatiaux concernent également les acteurs privés. Eux aussi peuvent être victimes de collisions accidentelles et perdre leurs

satellites commerciaux. Eux aussi doivent être considérés comme une partie prenante du problème. Or les textes techniques de l'IADC et les guidelines internationales du COPUOS sont des textes élaborés par des agences spatiales pour des agences spatiales. Il devient nécessaire de les traduire, de manière à ce que les acteurs de l'industrie puissent s'en emparer. D'autre part, ces mêmes acteurs revendiquent de pouvoir prendre part au processus de régulation. L'élaboration d'un standard ISO (24-113) sur la problématique des débris spatiaux, entrepris dans le courant des années 2000 et publié en 2011 vient répondre à cette double demande. Ce texte, inspiré des guidelines et recommandations techniques de l'IADC révisées la même année et par le code de conduite de l'ESA, a été rédigé par un groupe d'industriels, de représentants d'agences spatiales, de juristes, d'assureurs. Des acteurs du secteur public comme privé ont pris part à son élaboration. Ce standard présente l'avantage d'être contractuel (il ne s'applique que lorsque le client l'exige) et donc beaucoup moins contraignant qu'une loi. Aujourd'hui, il paraît comme un des outils de régulation les plus utilisés par les acteurs du secteur spatial (von der Dunk 2015). Les deux accidents de 2007 et 2009 apportent également la preuve tangible que les accidents de cette nature peuvent se produire en orbite, de manière volontaire et involontaire, avec des conséquences concrètes sur les activités spatiales. Il devient nécessaire de gérer le problème en répondant à trois problématiques : empêcher de nouvelles collisions en orbite, éviter que les satellites en fin de vie se transforment en débris et nettoyer les orbites des débris les plus dangereux.

La multiplication des débris spatiaux implique à la fois d'améliorer les capacités de surveillance de l'espace mais également l'amélioration des capacités de manœuvre des satellites envoyés en cas de risque de collision trop important. On sait que la collision entre Iridium 33 et Cosmos 2251 aurait pu être évitée si les informations sur le positionnement des satellites et les possibilités de manœuvre avaient été meilleures. Les militaires américains avaient eu accès à l'information de la collision imminente entre les deux satellites, sans pour autant la communiquer ni à la Russie, ni à l'opérateur privé. La prise de conscience de ce dysfonctionnement a entraîné la mise en place de moyens de communication plus ouverts entre les pays. Il y a un enjeu pour savoir où sont les débris dans l'espace et sur quelles trajectoires ils évoluent, également appelé le *Space Traffic Management*. Aujourd'hui, c'est le catalogue américain de suivi des objets en orbite qui sert de référence internationale. Ce service gratuit envoie une notification à l'opérateur en cas de risque de collision pour ses satellites. Pour éviter de dépendre de l'information américaine, l'Europe cherche à développer ses propres systèmes de suivi des objets. Le déploiement d'un réseau de radars européens, le European Space

Surveillance and Tracking (EUSST), au sein duquel on trouve le radar français GRAVES, a été lancé en 2014. Des entreprises proposent à la vente des services de tracking à des opérateurs pour les aider à éviter d'éventuelles collisions, ou évaluer en amont d'une mission le risque encouru par leurs satellites. Il ne s'agit pas uniquement d'avoir accès aux bonnes informations mais également d'être en mesure de manœuvrer les satellites. Les opérations de manœuvres sont essentielles à toute mission spatiale, à la fois pour placer le satellite sur son orbite et le maintenir. Toutefois, les manœuvres impliquent une consommation supplémentaire de carburant, ce qui n'est pas prévu dans tous les lancements. Les satellites inactifs ne désignent pas seulement des satellites qui auraient cessé de fonctionner et seraient devenus des débris, mais également des satellites qui n'ont pas les moyens de manœuvrer.

Il est aussi possible d'empêcher la création de nouveaux débris en gérant la fin de vie des satellites. Cela se traduit d'abord par l'amélioration des blindages des satellites, mais également par la prise en compte de la fin de vie des satellites. Recommandé par le standard ISO 24-113, l'outil ACV, ou de l'analyse du cycle de vie, commence à être appliqué aux missions spatiales (Colombo et al. 2017; Maury et al. 2019). Peu à peu, les industriels prennent conscience de l'importance du choix de certains matériaux, qui se consomment mieux que d'autres au moment de la rentrée atmosphérique, par exemple, et l'importance de concevoir les satellites de manière à ce qu'ils ne laissent pas de traces derrière eux, qu'ils ne se transforment pas en débris et ne viennent pas s'ajouter à la masse de déchets déjà présente en orbite. Des entreprises proposent par exemple des voiles solaires, pouvant être embarquées à bord et déployées en fin de mission, pour infléchir la trajectoire des satellites et les faire retomber dans l'atmosphère.

Néanmoins, anticiper la création de nouveaux débris et la fin de vie des satellites ne permet pas de réduire significativement le risque de collisions graves. Pour faire face au problème, il est nécessaire d'identifier les débris les plus dangereux et trouver un moyen de les mettre hors d'état de nuire. Au début des années 2010, on observe une intensification des initiatives autour des technologies de désorbitation, désignées par le terme d'« Active Debris Removal ». Les agences spatiales ont commencé très tôt à imaginer des technologies de désorbitation. La première mission à des fins de « nettoyage » a été menée par l'ESA en 2002 avec le lancement de son robot ROGER chargé de déplacer des satellites inactifs vers des orbites cimetières. L'agence spatiale européenne a également mené des tests sur un de ses satellites, ENVISAT, dont le prolongement de la durée de vie a empêché la désorbitation correcte et qui s'est transformé en un des plus gros débris présents en orbite. Ces missions présentent aussi un défi technologique de taille, car il faut développer des techniques jusque-là inexistantes permettant

d’aller attraper des débris en orbite. Les grands programmes de recherche sur les techniques de désorbitation sont organisés par des acteurs publics, comme des universités ou des agences spatiales. L’École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) lance en 2012 le programme « Clear Space One » au sein de son centre consacré à la recherche spatiale. Outre des actions de sensibilisation pédagogique, son projet est de désorbiter le SwissCube, un Cubesat lancé par des étudiants en 2009. Au sein du programme e.Deorbit lancé en 2009 par l’ESA, débute, en 2013, la mission RemoveDebris, une opération rassemblant un consortium d’industriels et d’universités pour tester un éventail de technologies en orbite. Ces opérations sont extrêmement coûteuses pour les agences spatiales et le retour sur investissement paraît faible.

Les deux catastrophes de 2007 et 2009 ont transformé le problème des débris spatiaux en problème de gestion global, dont la résolution nécessite le développement d’initiatives pour améliorer le trafic spatial, mieux gérer la fin de vie des satellites et entreprendre de nettoyer certains débris dangereux. Ces projets sont jusqu’alors principalement menées par des agences spatiales, en raison de leur faible retour sur investissement. Toutefois, la tendance évolue à nouveau lorsque plusieurs grands opérateurs de satellites privés commencent à dévoiler des projets de « méga-constellations ». Il s’agit de flottes de plusieurs milliers de satellites, qui permettraient d’assurer une couverture Internet parfaite et du haut débit à n’importe quel endroit du globe. En 2015, l’entreprise SpaceX dévoile un projet de méga-constellation appelé Starlink, qui serait composée de 12 000 satellites et dont la mise en orbite multiplierait par six le nombre de satellites dans cette région orbitale. La même année, l’entreprise OneWeb, fondée par Greg Wyler, présente une méga-constellation de 650 satellites de télécommunication, également destinés aux orbites basses mais à une plus grande altitude que la constellation SpaceX (1200 km contre 600 km). Les annonces de ces nouveaux projets de grande envergure vont à nouveau transformer le problème des débris spatiaux, présentant une source d’aggravation de la situation en même temps qu’une possible opportunité.

2.5. Les débris spatiaux comme une source d’opportunité (depuis 2015)

L’arrivée des méga-constellations fait basculer le problème des débris spatiaux dans une autre dimension. Plusieurs équipes de chercheurs ont mis en avant les dangers liés à la multiplication de ces projets pour l’équilibre des orbites et la gestion du risque de collision (Foreman, Siddiqi, De Weck 2017; Lewis 2020; Rossi et al. 2017). En effet, ces convois de satellites augmenteraient considérablement le nombre total d’objets présents en orbite. Or, on sait depuis

les premières études de Kessler que plus les objets en orbite sont nombreux, plus le risque de collision entre objets actifs et/ou inactifs est élevé. De plus, ces satellites sont de petite taille et ne disposent pas toujours de moteurs suffisamment puissants pour prévoir une désorbitation contrôlée au moment de leur fin de vie. Pourtant, le déploiement de ces flottes de satellites en orbite basse a une autre conséquence, plus inattendue. En augmentant le risque de collisions et le nombre d'objets en orbite, elles font aussi augmenter l'intérêt des utilisateurs de l'espace, même à un niveau individuel, à agir sur le problème des débris. Les méga-constellations font donc apparaître un nouveau besoin, pour la satisfaction duquel les acteurs pourraient même être prêts à payer. Elles favorisent, indirectement, l'émergence d'un marché des débris spatiaux et font apparaître les débris sous un nouvel angle : celui de l'opportunité.

Il peut sembler presque iconoclaste de considérer les débris spatiaux comme une opportunité, étant donné le risque que ces derniers font courir aux astronautes et aux satellites actifs les plus utiles au fonctionnement de nos sociétés terrestres. Pourtant, un des derniers ouvrages consacrés à la question des débris, intitulé *Space Debris Peril, pathways to opportunities* de Madi & Sokolova (2021), s'inscrit précisément dans cette perspective : « (...) *the space debris peril has in practice created a number of new opportunities not only in technology development aspects and the creation of a niche market notably in Research & Development and Insurance sectors, but also it is acting as a platform for international dialogues aiming at establishing new legislation and policies for a sustainable global future in the New Space era.* », pp. 224-225). En effet, on constate à partir de 2015 l'engagement de plusieurs types d'acteurs, aussi bien publics que privés, dans le développement d'activités autour du traitement des débris spatiaux, dans la perspective de faire émerger une opportunité économique. De nombreuses startups sont créées avec cette ambition. Certaines misent sur la vente de données. C'est le cas de Leolabs, un jeune réseau de radars fondé en 2016 et dont le but est de suivre les débris en orbite basse, réussit à lever 4 millions de dollars en 2017, ou celui de la startup française Exotrail, créée la même année, qui développe des outils d'estimation à long terme et de gestion des messages d'alerte. D'autres se sont créées dans l'intention de développer un marché à part entière en offrant de réaliser des opérations de désorbitation, comme la startup Astroscale, entreprise japonaise qui a levé plus de 25 millions de dollars en 2017 et a ouvert des bureaux en Grande-Bretagne et aux États-Unis. Ses activités de lobbying lui permettent d'entretenir des liens des étroits avec les agences spatiales et la communauté scientifique qui travaille sur le sujet. Certaines agences spatiales tentent également de développer de nouvelles opportunités de marché, en finançant un service de démonstration à une startup nationale, dans l'espoir que cela

lui permette de se positionner sur le marché des débris. Dans la lignée de ses précédents programmes, l'ESA lance en 2019 un nouveau projet avec la startup suisse Clearspace, spin off de l'EPFL, pour développer un nouveau marché du nettoyage. Elle est suivie en 2020 par l'agence spatiale japonaise qui forme un partenariat avec la startup Astroscale pour aller désorbiter un débris de grande taille. Enfin, des acteurs industriels bien établis semblent également miser sur le développement d'une activité commerciale. En février 2020, Northrop Grumman réussit la première opération de rendez-vous en orbite avec un satellite commercial non conçu pour ce type d'opération. Le MEV-1 (Mission Extension Vehicle-1) concrétise la naissance du marché du servicing, c'est-à-dire de la vente de services d'intervention en orbite afin de réparer ou de recharger un satellite.

En parallèle, on constate que les autres approches du problème des débris, ou « voir comme », continuent d'évoluer. Les débris constituent toujours un objet d'étude toujours vivace. En 2019, la NASA a inauguré une nouvelle conférence internationale, l'IOC, sur la question des débris spatiaux. De nouveaux acteurs font leur apparition dans le champ des études sur les débris spatiaux, comme l'OCDE avec la publication d'un rapport consacré à la question en 2020. Les débris continuent aussi de faire l'objet de nouvelles régulations, notamment de la part d'acteurs privés qui se rassemblent dans de nouvelles coalitions d'acteurs, au sein desquelles ils proposent de nouveaux types de standardisation, afin d'accélérer le rythme de la parution des régulations et de mettre à disposition des firmes des outils clés en main. La Space Safety Coalition (SSC) est une initiative privée créée en 2019 et qui rassemble une quarantaine d'acteurs de différents horizons : des opérateurs privés (comme OneWeb), des entreprises de technologies (comme Astroscale), des constructeurs (comme Airbus) et des assureurs (comme Axa). Son fondateur Daniel Oltrogge la décrit comme « une organisation ad hoc, donc qui poursuit un but spécifique ». L'objectif est de pallier l'absence de traités et de régulation forte dans le domaine des débris spatiaux, en proposant de nouvelles best practices. Ces normes concernent de nombreux secteurs d'activité, de gros satellites et des petits, les opérations de lancement comme les rentrées atmosphériques. Si la Space Safety Coalition semble l'organisme le plus représentatif de ces initiatives d'acteurs privés, il faut également citer CONFERS, un consortium d'industriels qui travaillent à la mise en place de best practices. L'ensemble de ces initiatives jouent également sur l'effet réputationnel. Les opérateurs de satellites et les constructeurs sont encouragés à construire une image vertueuse de leurs activités pour se différencier de leurs concurrents et répondre ainsi à une demande générale de respect de principes éthiques. Enfin, les débris font encore et toujours l'objet d'initiatives quant à leur

gestion. En 2018 est par exemple créée la Secure World Foundation (SWF), une fondation financée par des dons dont l'objectif est d'animer un réseau international d'experts, d'organiser des discussions entre différentes parties prenantes et de jouer un rôle de lobby sur les questions de sécurité spatiale dans les différentes organisations internationales. En 2019, le Space Forum du World Economic Forum lance le « Space Sustainability Rating » (SSR), un label durable pour les lancements et les missions spatiales et sélectionne un consortium de recherche, composé de l'agence spatiale européenne (ESA), du MIT, de l'université du Texas à Austin et d'une entreprise de conseil Bryce Space and Technology. Inspiré du modèle de la certification écologique LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), le label a pour but d'inciter les opérateurs de satellites et les constructeurs à participer à l'effort collectif (Rathnasabapathy et al. 2020).

Conclusion du Chapitre 2.

La croissance progressive de la population de débris spatiaux s'est accompagnée d'une évolution de leur statut sur Terre et de la compréhension que les acteurs impliqués en ont eu. Après leur découverte, les débris sont devenus un objet d'étude pour les experts d'agences spatiales. Ces derniers leur ont fait acquérir une légitimité au sein du secteur spatial, jusqu'à leur permettre de se transformer, au tournant des années 1990, en objet de régulation, nationale et internationale, contraignante et volontaire. Les accidents majeurs de 2007 et 2009 transforment à nouveau la perception des débris, qui commencent à être envisagés comme un problème de gestion global. Ils ne concernent plus seulement les acteurs étatiques mais également les acteurs privés. Enfin, l'apparition des projets de méga-constellations, en 2015, modifie à nouveau le statut du problème. Les débris deviennent alors l'objet d'une potentielle création de valeur, dont s'emparent des acteurs publics comme privés. Bien sûr, ces différents statuts du problème ne sont pas exclusifs. Les débris spatiaux continuent d'être un objet d'étude pour les scientifiques et les experts tout au long de notre chronologie, de la même manière qu'ils continuent jusqu'à aujourd'hui de faire l'objet de régulations, et d'incarner un problème d'action collective globale. La perception des acteurs du secteur spatial s'est complexifiée au fil du temps, jusqu'à former un prisme à plusieurs facettes.

Résumé du Chapitre 2.

Ce chapitre articule description et narration pour présenter la manière dont la question des débris spatiaux a évolué au cours du temps. Le problème est apparu d’abord comme un objet d’études pour les scientifiques et experts des agences spatiales. Il s’est ensuite constitué en objet de régulation, d’abord publique puis privée, comblant progressivement un « vide institutionnel » (Gibassier, De Menna, Arjaliès 2015). Il est devenu par la suite un objet de gestion et d’organisation de l’action des acteurs. Enfin, il s’est transformé en un marché potentiel source de nouvelles opportunités. La narration montre la succession de points de basculement, qui encadrent des séquences chronologiques. En même temps, les différents points de vue sur les débris spatiaux se superposent les uns aux autres.

Chapitre 3 – La gestion par les règles

Tout nouveau lancement produit de nouveaux débris. L'augmentation du nombre de satellites mise en orbite risque, à terme, de provoquer un phénomène de collisions en chaîne qui pourrait nuire à l'utilisation de l'espace par l'ensemble des acteurs. Ce schéma relève de ce que Hardin a appelé « tragédie des communs ». Pour éviter cette tragédie, la première solution qu'il envisage est la mise en place d'un acteur administratif et politique tout puissant qui aurait suffisamment d'autorité pour contrôler l'action des individus et les sanctionner au besoin. Dans le cas de problèmes transfrontaliers, cette solution impliquerait la mise en place d'un gouvernement central qui se situerait au-dessus des États. Il existe des exemples de ce type de gestion de ressources globales. Lorsque l'on découvre, dans les années 1960, que des nodules polymétalliques parsèment le plancher océanique, se pose immédiatement la question de la gestion des fonds marins (Mero 1960). Inspirée par la notion de patrimoine commun de l'humanité qui voit le jour à cette même époque, l'International Seabed Authority, une instance internationale neutre et indépendante, est créée en 1982. Une joint-venture composée d'entreprises privées et publiques devait venir l'appuyer mais ce projet ne sera finalement pas mené à terme : « *It was so elaborate and complex that some of the most important states considered it unrealistic and even dangerous and did not sign the convention.* » (Kiss, 1985, p. 432). Rare exemple d'une agence internationale en charge de la gestion d'une ressource mondiale, l'International Seabed Authority existe encore aujourd'hui, même si sa gestion et son autorité sur les États continuent de faire débat (Lodge 2004).

Peut-on imaginer la création d'une agence intergouvernementale chargée de réguler et de contrôler l'application des règles dans le cas des débris spatiaux ? C'est l'hypothèse que font certains chercheurs qui envisagent la mise en place d'une *International Civil Space Organisation*, inspirée de l'ICAO (*International Civil Aviation Organization*) qui gère le trafic aérien (Alary, Rapp 2019). Toutefois, la difficulté d'obtenir un consensus à l'échelle internationale laisse penser que cette solution ne sera pas immédiatement réalisable. De plus, pour parvenir à fonctionner, ce gouvernement central aurait besoin d'être omniscient : « *L'équilibre optimal atteint en suivant la recommandation de centraliser le contrôle repose toutefois sur des postulats en termes de pertinence de l'information, de capacités de surveillance, de fiabilité des sanctions et de coûts de gestion. Sans une information valable et fiable, une agence centrale pourrait commettre de nombreuses erreurs, notamment en fixant une capacité de charge et des amendes trop élevées ou trop faibles, en sanctionnant [les*

acteurs] qui coopèrent ou en ne sanctionnant pas les resquilleurs » (Ostrom, 1990, p. 23). Au vu de la diversité des acteurs impliqués et de la divergence de leurs intérêts économiques, politiques et diplomatiques, la gestion centralisée préconisée par Hardin paraît difficilement applicable dans le cas de problèmes globaux. Si elles ne peuvent pas émaner d'une autorité centrale, comment, où et par qui les règles de l'action collective peuvent-elles être produites ? Cette question est au cœur de ce chapitre.

Nous commençons par une entrée en matière théorique, dans laquelle nous revenons sur la nature des règles et leur rôle tel qu'il est envisagé par la littérature, à la fois juridique et philosophique (1). Dans un second temps, nous décrivons les différentes sources de régulation sur les débris spatiaux (2), avant d'analyser le rôle que jouent ces règles (3) et la manière dont elles sont articulées les unes aux autres (4).

1. Approches juridique et philosophique de la règle

L'analyse des règles a été menée de deux points de vue différents, celui du juriste et celui des philosophes principalement dans la lignée de Wittgenstein. N'étant ni juriste ni philosophe de formation, il ne s'agit pas ici de reprendre dans toute leur complexité des débats qui ont suscité une littérature abondante et controversée sur la question très difficile des règles, mais de tirer de ces débats des éléments nous permettant d'aborder la question des règles dans le cas des débris spatiaux.

1.1. Le droit et la règle

Le philosophe du droit H.L.A. Hart définit les règles de la façon suivante : « *Rules are conceived and spoken of as imposing obligations when the general demand for conformity is insistent and the social pressure brought to bear upon those who deviate or threaten to deviate is great.* » (Hart, 1961, p. 84). Dans cette perspective, la règle apparaît comme une injonction ou un ordre clairement défini, dont le non-respect entraîne une sanction. En droit, ces règles relèvent de la *hard law* et combinent, selon Abbott & Snidal (2000), les trois variables suivantes, l'obligation, la précision, la délégation : « *Hard law refers to legally binding obligations that are precise (or can be made precise through adjudication or the issuance of detailed regulations) and that delegate authority for interpreting and implementing the law* », (Abbott & Snidal, 2000, p. 421). Le recours à des règles contraignantes permet de réduire les

coûts de transaction et de renforcer la crédibilité des acteurs ainsi que leur stratégie politique, tout en restreignant les libertés.

Au niveau international, la *hard law* prend la forme de traités. Certaines institutions continuent d’être organisées autour de cet outil juridique. On pense notamment à la Convention de Stockholm (Hardy, Maguire 2020) ou au Protocole de Kyoto (Wijen, Ansari 2007). Cependant, on voit la difficulté qu’il peut y avoir à réguler au niveau international en *hard law* dans des problèmes globaux, impliquant un très grand nombre de parties prenantes.

Le juriste voit donc la règle comme imposant des obligations, mais également comme participant d’un ordre hiérarchique. Les règles ne cohabitent pas entre elles de manière horizontale : considérant deux règles, il est normalement possible de savoir que l’une respecte l’autre. Dans le cadre des États, les règlements ou régulations émis par des instances administratives, par exemple des régulateurs indépendants, respectent la loi votée par le parlement. Dans le cadre international, la loi nationale respecte le traité.

C’est dans le cadre international qu’a été inventée la notion de *soft law*. Les règles de la *soft law* prennent la forme de codes de conduite, de normes, de guidelines, et surtout de standards. Elles relèvent de l’autorégulation, du compromis, de la participation volontaire et peuvent être pensées comme une forme d’organisation (Brunsson, Rasche, Seidl 2012; Brunsson, Jacobsson 2005), jouant un rôle central dans des champs émergents (Acquier, Boxenbaum, Pinheiro-Croisel 2011). Le recours à ce mode de régulation, dont l’International Standards Organization (ISO) est l’incarnation, a été renforcé par la globalisation de la régulation (Bütthe, Mattli 2013). Pour nombre de juristes, l’expression est un oxymore : un droit ne comportant aucune obligation n’est par définition pas un droit. Si, d’une certaine manière, on peut quand même la considérer comme faisant partie de l’ordre juridique, elle se situe tout en bas de la hiérarchie des normes. En réalité, la *soft law* apparaît plutôt pour le juriste comme une simple source d’inspiration pour le droit, qu’elle préfigure : des acteurs se saisissent d’un problème, formulent des règles non contraignantes, sans statut clair, et ces règles ne deviennent du droit que si un traité est adopté qui les reprend, ou si un État décide de s’en inspirer pour adopter une loi.

1.2. La philosophie et la règle

Inspirée souvent de Wittgenstein, la réflexion philosophique sur les règles présente deux caractéristiques propres. D’une part, peut-être parce que Wittgenstein a été lui-même instituteur et parce qu’il a beaucoup réfléchi sur les fondements des mathématiques, elle ne porte pas

uniquement sur les règles de droit, mais, aussi par exemple, sur les règles des jeux. D'autre part, la réflexion philosophique sur les règles porte sur de la manière dont on l'acquiert, sur son apprentissage.

Elizabeth Anscombe, élève de Wittgenstein raisonne à partir de plusieurs types de « modals », qu'elle définit de la manière suivante : « *Modals come in mutually definable related pairs as : necessary, possible; must, need not; ought, need not, etc.; together with modal inflections of other words.* » (Anscombe, 1978, p. 321). La règle peut d'abord prendre la forme d'un ordre, contraignant, indiquant ce que l'on doit faire. En tant que « forcing modal », elle indique précisément ce que les acteurs doivent faire. On est ici très proche de la règle de droit. Un adulte explique à un enfant comment il doit se comporter.

Cependant, la règle peut également désigner quelque chose que l'on doit s'abstenir de faire. Ce sont les « stopping modals » : « *These are of course negative; corresponding positive ones, or the positive form into which any negative modal can be put, we may call "forcing modals." The negative gets priority; it is I think more frequent than the positive, which restricts one's action to one thing. (Just as "thou shalt nots" tend to leave you freer than "thou shalts.") If I say "You can't wear that!" and it's not, for example, that you are too fat to get it on, that's what I call a stopping modal.* » (Anscombe, 1978, p. 321). Les règles de cette forme sont suivies d'une explication : il est interdit de faire quelque chose, parce que cela peut avoir des conséquences indésirables. Anscombe nomme cette explication le logos, qui permet de mettre en évidence la dimension d'apprentissage du « stopping modal » : « *At the beginning, the adults will physically stop the child from doing what they say he "can't" do. But gradually the child learns. With one set of circumstances this business is part of the build-up of the concept of a rule; with another, of a piece of etiquette; with another of a promise; in another, of an act of sacrilege or impiety; with another of a right.* » (Anscombe, 1978, p. 321). On voit bien qu'il s'agit ici d'une autre approche de la règle, qui porte davantage sur l'apprentissage d'un comportement plutôt que sur l'obligation d'action.

Enfin, dans le prolongement d'Anscombe qui n'a pas vraiment identifié ce rapport à la règle, il existe une troisième approche dans laquelle les règles ont des contours flous et prennent la forme de principe. On ne s'intéresse plus à ce qu'il faut faire (*ought to do*) mais à ce qu'il faut atteindre (*ought to be*). Il s'agit d'une régulation par les principes. On peut voir les règles comme des commandes « définitives » et les principes comme des commandes d'optimisation (« *[principles] impose the obligation that something be realized to the highest degree that is actually and legally possible* », Alexy, 2000, p. 300). Autrement dit, le principe fixe un objectif,

en laissant l'acteur libre d'y parvenir comme il le souhaite, alors que la règle détaille une procédure. La différence entre les deux est rendue particulièrement visible en cas de conflit. Les règles peuvent s'opposer mais les principes entrent seulement « en collision » les uns avec les autres, puisqu'ils ne sont jamais faux. D'autres auteurs différencient les règles des principes par leur degré de précision. L'article de Braithwaite, « Rules and Principles, A Theory of Legal Uncertainty » paru en 2002 débute ainsi : « *This essay conceives rules as specific prescriptions, principles as unspecific or vague prescriptions* ». Selon lui, règles et principes sont situés sur le même continuum, les uns étant simplement plus précises que les autres.

On retrouve la distinction entre règles et principes dans la littérature, sous des formes variées. Ostrom et Basurto (2011) établissent une distinction entre règles et normes qui se rapproche de la distinction entre règles et principes. Selon eux, les règles sont des « *shared understandings by actors about enforced prescriptions concerning what actions (or outcomes) are required, prohibited, or permitted.* » (Ostrom & Basurto, 2011, p. 319). Elles se distinguent clairement des normes, « *prescriptions about actions or outcomes that are not focused primarily on short-term material payoffs to self.* » (ibid, p. 322). Dans d'autres travaux, règles et principes sont tous deux désignés comme des normes, les premiers étant des *ought-to-do norms* (ce qu'il faut faire) et les seconds des *ought-to-be norms* (ce qu'il faut atteindre) : « *The norm-addressee is not required to perform a particular act, but to bring about/preserve/produce/or to see to it that a certain state of affairs is brought about. An [ought-to-be]-norm leaves unspecified whether the direct norm-addressee or whether other people bring about/preserve/produce the desired effect* ». (Westerman, 2018, p. 33, cité par Dumez, 2018).

Les principes présentent des avantages pour les acteurs, qu'ils soient des firmes, des organismes de régulation, ou d'autres parties prenantes : « *For firms, principles-based regulation can provide flexibility, facilitate innovation and so enhance competitiveness. Principles based regulation can be beneficial for regulators too: it can provide them with flexibility, facilitate regulatory innovation in the methods of supervision adopted; enable the regulatory regime to have some durability in a rapidly changing market environment; and enhance regulatory competitiveness. Other stakeholders can benefit from the improved conduct of firms as they focus more on improving substantive compliance and achieving outcomes and less on simply following procedures, box-ticking or on working out how to avoid the rule in substance whilst complying with its form: 'creative compliance'.* » (Blake, 2010, p. 3). Cependant, ils présentent également des inconvénients. Ne fixant que des objectifs, sans détailler la manière de les atteindre, les principes peuvent donner lieu à des dérives.

Face à des problèmes complexes, ces deux manières de réguler peuvent s'articuler. Selon Braithwaite (2002), la configuration la plus efficace serait d'avoir des règles non-contraignantes adossées à des principes contraignants : « *Principles may be more important than rules for engendering legal certainty because they are simpler, shorter, fewer and therefore can be better discussed from board meetings down to factory floor in drawing out the lessons from valued stories. The trouble with all this is that something has to be important enough to justify the investment in storytelling and other forms of deliberation that makes this work. Precise rules are regularly superior for the less important stuff of life, like telling us that we have to pay the parking meter between the hours of 8.30 am and 4 pm. The more complex and economically important matters that are our domain of interest here tend to be domains where participants in a regulatory community – firms, regulators, professionals, NGOs – are more likely to be willing to make a conversational investment. But often they will not for reason of politics or resources. Because this is often so, conversational regulation needs to be backed up with a default of punitive regulation against specific rules and general principles that close off the loopholes that can be woven through the rules.* » (Braithwaite, 2002, p. 75).

La règle est vue par les juristes comme l'imposition d'une obligation. Cette approche implique une hiérarchie des normes, qui exclut ou place en bas de l'échelle l'ensemble des règles non contraignantes, que l'on appelle *soft law*.

La philosophie offre une approche différente de la règle, partant d'une réflexion sur la manière dont nous apprenons, dès notre enfance, ce qu'est une règle. Anscombe avance la notion de modals, qui permet de distinguer une approche de la règle comme obligation (forcing modal) mais également comme interdiction suivie d'une explication (stopping modal). On peut compléter cette analyse par la notion de principe qui fixe à l'acteur un objectif en lui laissant le choix des moyens d'atteindre cet objectif. Cette approche multiple et plus ouverte de la règle nous permet sans doute de mieux appréhender la diversité des règles, de leurs statuts et de leurs sources, que l'on va rencontrer dans le cas des débris spatiaux.

2. Les sources de régulation dans le problème des débris spatiaux

Les règles qui portent sur les débris spatiaux ne proviennent pas d'une seule source, mais sont émises depuis plusieurs lieux, et plus précisément au sein de différents forums. Ces forums (ou arènes d'action chez Vincent Ostrom (voir McGinnis, 2011), peuvent prendre la forme d'organismes étatiques (États, groupements régionaux) ou de méta-organisations (Ahrne, Brunsson 2008; Berkowitz, Dumez 2016; Dumez, Renou 2020). Ces dernières désignent des organisations dont les membres sont des organisations et non des individus. Dans le cas des débris spatiaux, il s'agit d'organismes internationaux ou de coalitions d'entreprises. Chaque forum fonctionne différemment et produit différents types de règles. Pour chacun d'entre eux, il est donc nécessaire de comprendre qui sont les acteurs, quelle position ils occupent, comment se structure le processus de décision, comment circule l'information et quel est leur objectif. Dans cette section, nous détaillons le fonctionnement des cinq principales sources de régulation dans le problème des débris spatiaux : les États et les agences spatiales (2.1), l'IADC (2.2), le COPUOS (2.3), l'ISO (2.4) et les coalitions d'acteurs privés (2.5).

2.1. Les États et les agences spatiales

Pour comprendre ce qui motive les États à réguler au niveau national, il faut revenir aux traités fondateurs du droit de l'espace. L'article IV de l'Outer Space Treaty est énoncé le principe de « liability » (responsabilité), qui rend chaque pays responsable des objets spatiaux lancés depuis son territoire, même par des opérateurs privés. Tous frais engendrés par des accidents en orbite doivent être pris en charge par l'État de lancement. Or le volume des activités commerciales privées a considérablement augmenté depuis l'adoption de ce traité. Les États cherchent donc de plus en plus à encadrer l'activité des opérateurs commerciaux, afin de se prémunir contre les risques d'accidents (Von der Dunk & Tronchetti, p. 127). Un expert juridique explique :

« Il y a un mouvement général vers la loi. Les pays commencent vraiment à légiférer. L'État se couvre et encourage le développement d'activités spatiales dans son pays parce que ça donne un cadre et que ça encourage à développer les activités. De plus en plus d'États entrent dans le secteur spatial et développent des réglementations spatiales. » [Expert juridique agence]

Les premiers standards nationaux ont été publiés par des agences spatiales. La NASA fait paraître deux standards consécutifs en 1995 et 1996. Elle est imitée par l'agence spatiale

japonaise en 1997, puis par le CNES en 1999, les agences russe en 2009 et allemande en 2012. Ces standards préconisent des mesures de prévention comme la limitation du temps passé en orbite, la passivation (vidange) de satellites en fin de vie et leur déplacement sur des orbites cimetières.

Les États eux-mêmes développent des régulations. Certains, comme le Royaume-Uni, fonctionnent sur le principe de licences. D'autres, comme la Suède, la Norvège ou la France choisissent de promulguer des lois. La Loi sur les Opérations Spatiales votée en 2008 en France est reconnue au niveau international pour être un des textes de *hard law* les plus contraignants sur la question des débris. D'autres pays se montrent plus permissifs. Au Luxembourg, par exemple, les conditions d'obtention d'une autorisation de lancement sont peu contraignantes. Ces différences peuvent provoquer un phénomène de « forum shopping », les opérateurs pouvant choisir les pays les moins contraignants pour y effectuer leurs lancements.

Produire des règles sur les débris spatiaux à l'échelle nationale comporte plusieurs inconvénients. D'abord, la mise en place de règles entre en conflit avec les intérêts des industriels. Un pays qui impose une régulation trop stricte risque de paraître moins attractif aux opérateurs que des pays moins exigeants sur le plan juridique. Le processus d'élaboration des règles doit prendre ce risque en compte et faire des compromis, comme cela a été le cas lors de la rédaction de la loi française en 2008 :

« Les industriels (les trois opérateurs de satellites privés français) ont été associés au processus d'élaboration de la loi, avec Eutelstat, Airbus, Thalès (constructeurs et parfois opérateurs pour les satellites). Quand une clause était trop exigeante, les industriels ont obtenu des aménagements. La loi n'a pas faussé la concurrence. »

[ingénieur firme]

De plus, ces régulations peuvent avoir une portée allant au-delà des frontières du pays qui les instaure. Ainsi, les règles promulguées par les États-Unis, puissance spatiale de premier plan et où se développent la quasi-totalité des projets de méga-constellations, a un impact conséquent au niveau international. D'une part, ces régulations concernent une part importante des utilisateurs de l'espace, puisque plus de la moitié des satellites en orbite sont Américains. D'autre part, ces règles ont un effet domino, car elles sont reprises et imitées par d'autres pays. La régulation américaine en matière de débris spatiaux fait ainsi l'objet d'une observation

attentive de la part des experts et juristes internationaux. La Federal Communication Commission (FCC), par exemple, qui a pour rôle d’attribuer les licences aux satellites de télécommunication et donc d’autoriser le lancement des satellites de la méga-constellation Starlink de SpaceX, est très observée. Toutefois, comme le raconte un de nos interviewés, toutes ses initiatives n’aboutissent pas :

« En plein confinement [dû à la crise Covid, au printemps 2020], la FCC a publié des règles, et a demandé des réactions pour 15 jours plus tard. Elle a voulu jouer le rôle du chevalier blanc avec des règles hyper-contraindantes, [en fixant] la règle de probabilité de collision de 10⁻³, [et en exigeant que] la constellation [soit] considérée comme un satellite. Pour une constellation de 100 ou 1000 satellites, c’est une mesure quasiment impossible à atteindre. Ils ont proposé de mettre en place une caution déposée auprès de la FCC avant le vol et rendue si la désorbitation était opérée en fin de vie. Il y a eu une levée de boucliers. C’est remonté au niveau politique. La FCC n’appliquait pas la directive 3 de la Maison blanche. Le Congrès et le DoC [Department of Commerce] se sont plaints et ont demandé à la FCC d’arrêter. Le 23 avril, elle n’a adopté que les mesures consensuelles qui ne gênaient personne. » [Expert agence]

Les propositions de renforcement des règles de contrôle sur le lancement des méga-constellations ont rencontré une très vive opposition de la part des acteurs privés, et la FCC a été contrainte de battre en retraite.

Pour résumer, les États et les agences spatiales constituent une première source de régulation sur les débris spatiaux. Ils produisent pour les premiers des lois et pour les secondes des standards, poussés par la nécessité d’anticiper une éventuelle responsabilité lors d’accidents en orbite. Cependant, ces règles forment des îlots de régulation, qui ne peuvent pas répondre au caractère global du problème. Comme l’action de chaque utilisateur peut avoir un impact sur tous les autres, les règles devraient dans l’idéal s’appliquer à tous les utilisateurs de l’espace, et donc être élaborées à l’échelle internationale. Comme le résume un interlocuteur à la fin d’un entretien :

« Ça fait une heure que je parle, et tout ce que j’ai à dire se résume à : il faut arriver à de l’international. » [ingénieur firme]

Où et comment sont produites les règles au niveau international ? Parmi les organismes produisant des règles sur les débris spatiaux, l'IADC, l'Inter-Agency Space Debris Committee, est le premier à avoir publié des guidelines internationales.

2.2. L'IADC (Inter Agency Space Debris Committee)

Les membres de l'IADC sont des agences spatiales, représentées par des experts internationaux spécialisés, dont l'objectif est de promouvoir la coopération scientifique internationale. Tout au long des années 1970, puis 1980, les quelques chercheurs des agences spatiales qui travaillent sur les débris ne parviennent pas à susciter l'intérêt de leurs directions, encore sceptiques quant à l'importance à accorder au problème. Unir leurs forces et établir des collaborations entre agences apparaît comme une manière de rendre le problème non seulement visible mais également légitime aux yeux de la communauté spatiale. C'est dans ce contexte que l'IADC est créée, officiellement en 1993 : *« Son origine remonte à octobre 1987, date de la première réunion de coordination tenue entre la NASA et l'ESA à Rolleboise, en France. Ce comité s'appelait alors « ESA-NASA Orbital Debris Coordination Committee ». Les six délégués ESA et leurs cinq homologues NASA ont échangé sur leurs programmes respectifs dans le domaine, en identifiant les voies potentielles de coopération. Ce comité s'est ensuite réuni à cinq occasions, avant d'accueillir le Japon en 1992 puis la Russie en 1993. C'est à cette occasion que le nom définitif du comité a été choisi, et que les statuts de l'IADC ont été établis. »* (Bonnal⁸, 2016, pp. 116-117). Au cours de la décennie suivante, les quatre premiers membres sont rejoints par sept autres agences spatiales (chinoise, française, britannique, indienne, allemande, italienne, ukrainienne). Les agences canadienne et coréenne complètent aujourd'hui cette liste, intégrant respectivement l'IADC en 2010 et en 2014. De nouvelles agences spatiales, et d'autres entités, envoient régulièrement des demandes d'adhésion (Présentation COPUOS, IADC 2020). Mais pour devenir membre, il faut pouvoir justifier de capacités de lancement autonomes ou d'une activité de recherche sur les débris spatiaux. C'est pour cette raison que l'ESA représente plusieurs pays européens, comme l'Espagne, la Suisse, le Benelux, qui ne pourraient pas siéger de manière indépendante. Cette barrière à l'entrée exclut les agences

⁸ Christophe Bonnal est chercheur au CNES et expert international des débris spatiaux, auteur de l'ouvrage *Pollution spatiale, l'état d'urgence* d'où est tirée cette citation. Il a présidé la première délégation IADC de l'agence spatiale française.

spatiales les plus jeunes ou dotées de moyens moins importants. Aucune agence spatiale des pays d'Amérique Latine, par exemple, n'est présente ni représentée.

Au-delà de ses missions scientifiques, l'IADC s'est donné pour objectif, dès sa création en 1993, de proposer des recommandations pouvant aider les régulateurs. Le forum fonctionne par consensus et il a fallu plus de cinq ans pour que les experts, et à travers eux les agences spatiales, se mettent d'accord sur un premier texte, finalement publié en 2002 et présentant les « IADC Space Debris Mitigation Guidelines ». Parmi elles figurent la règle des 25 ans en orbite, au-delà desquels les satellites devraient être désorbités, ainsi que la règle de la passivation, qui recommande la vidange des réserves de carburant pour éviter les explosions. Ces recommandations vont devenir une référence incontournable et inspirer des standards, guidelines, lois nationales, codes de conduite qui cherchent à limiter la production de débris spatiaux et à augmenter la sécurité en orbite. Depuis, ces guidelines ont fait l'objet de révisions mineures en 2007⁹. En 2017, un « statement » est publié sur les méga-constellations en orbite basse. Toutefois, ce forum n'a pas de pouvoir formel de régulation.

« On dit : voici ce qu'il faudrait faire mais, derrière, cela n'a aucune valeur. On est juste une bande d'ingénieurs pas habilités à écrire des standards ni des lois, mais qui donnent leur avis d'expert ». [Expert agence, membre IADC]

Cet avis exerce une influence majeure sur la production de règles portant sur les débris, au point d'apparaître comme la source de toute régulation :

« Dans la structure idéale, l'IADC c'est la Bible. C'est comme ça que c'est censé fonctionner. Les experts des différentes agences se réunissent et statuent sur la situation et ce qu'il faudrait mettre en place pour y remédier. » [Expert agence, membre IADC]

Cet organisme à la parole « biblique » a pour rôle d'énoncer de grands principes, ensuite repris dans les autres enceintes de régulation. Pourtant, l'influence de l'IADC semble s'être affaiblie ces dernières années. Malgré l'homogénéité de la structure, le consensus entre les membres reste extrêmement difficile à atteindre car l'IADC n'échappe pas aux complexités

⁹ <https://www.unoosa.org/documents/pdf/spacelaw/sd/IADC.pdf>

géopolitiques. Sur certains sujets, les experts internationaux ne peuvent pas échanger directement les uns avec les autres pour des raisons diplomatiques :

« C'est très compliqué de rassembler tout le monde. Souvent, cela se fait dans des conditions particulières : le Chinois n'a pas le droit de parler à l'Américain, et vice versa » [Expert agence, membre IADC]

De plus, la rapidité de l'évolution de l'environnement spatial entre en conflit avec le temps nécessaire pour parvenir à un consensus :

« Cette année on va avoir une nouvelle version qui va sortir avec des chiffres qui sont en évolution par rapport aux versions précédentes mais qui par rapport à la situation actuelle sont en retard d'une dizaine d'années. C'est à dire que la guideline de 2011 ou 2012, sachant qu'on est en 2019, on a mis 8 ans pour se mettre d'accord sur une nouvelle version. Et la version sur laquelle on est d'accord a 10 ans de retard. Donc aujourd'hui il y a des guidelines, des chiffres, pfff, de toute façon on ne les respecte pas, et ce serait bien de les respecter, mais même si on les respectait ce ne serait pas suffisant pour avoir une stabilisation de la population ». [Expert agence, membre IADC]

Il faut également souligner que si les délégations d'agences spatiales peuvent prendre l'initiative d'inviter des acteurs externes, comme des militaires, les acteurs privés ne sont pas conviés dans les discussions :

« Il n'y a jamais d'industriels ni de privés mais les agences peuvent inviter l'armée (armée de l'air ou Onera par exemple). [...] La NASA a le droit d'inviter des institutionnels dans sa délégation comme l'US Air Force, le DoD [Department of Defense], etc. Mais jamais d'industriels parce qu'on veut rester purs. » [Expert agence, Membre IADC]

L'exclusion des acteurs privés est censée garantir l'homogénéité du forum, ce qui facilite les discussions et protège les experts des intérêts individuels des acteurs externes :

« On ne discute pas du feed-back sur l'industrie. C'est comme pour le climat. On a besoin d'un forum coupé des implications économiques, politiques, un forum scientifique. » [Expert agence, membre IADC]

Pourtant, malgré la « pureté » revendiquée et recherchée par ses membres, l'IADC n'est pas non plus complètement exempte de la présence d'acteurs privés. En 2018, lors du colloque annuel qui avait lieu cette année-là à Tsukuba, siège de l'agence spatiale japonaise près de Tokyo, le fondateur de la startup Astroscale spécialisée dans le nettoyage des débris tweete la photo d'un buffet japonais : « IADC à Tsukuba. @Astroscale a servi des sucreries japonaises à des gens du monde entier ! ». L'année suivante, c'est la startup italienne D-Orbit qui est présente, au colloque organisé cette fois à Rome. La présence d'acteurs privés, en arrière-plan de la conférence, est confirmée par un startupeur du secteur spatial :

« Si tu es en première loge à l'IADC, tu vas pouvoir influencer quelle recommandation finit dans quelle norme (...). Quand Astroscale est aux premières loges, ça leur permet de savoir ce qui sera dans les futurs contrats et d'aller voir leurs clients en disant « ah, regardez, les normes vont changer donc si vous voulez commercialiser vos produits il va falloir faire de telle manière »... » [Membre startup]

L'IADC constitue un forum scientifique, qui a joué un rôle central dans le fonctionnement du système de régulation en publiant les premières guidelines internationales concernant les débris spatiaux. Cependant, ce forum n'a pas de pouvoir officiel de régulation. Pour entériner ces guidelines et les mettre en œuvre, il était nécessaire de les porter au sein de forums de régulation internationaux officiels. Sur le spatial, il existe un organisme qui joue ce rôle : le Committee on the Peaceful Uses of Outer Space, ou COPUOS.

2.3. Le COPUOS (Committee on the Peaceful Uses of Outer Space)

Le COPUOS n'est pas un organisme spécialisé sur la question des débris spatiaux. Cette antenne des Nations Unies représente le principal organe du droit spatial. Sa création remonte à 1958, en pleine Guerre Froide, alors que peu de pays disposent de capacités de lancement et que l'activité spatiale est largement dominée par les blocs russe et américain, qui cherchent à encadrer la course à l'espace dans laquelle ils viennent de se lancer. Dans ce contexte, l'ONU

adopte cinq traités internationaux. Au début des années 1990, le nombre de pays membres a déjà doublé¹⁰. Il ne cessera d'augmenter dans les décennies suivantes, reflétant l'évolution de la mondialisation géopolitique. En effet, les pays sont de plus en plus nombreux à développer des capacités de lancement, et même ceux qui n'en disposent pas encore souhaitent être présents à la table des négociations internationales. Dans ce contexte, le mécanisme multilatéral menant à l'adoption de traités ne paraît plus être un outil juridique pertinent. L'idée d'un nouveau traité portant sur la gestion des débris spatiaux est d'ailleurs rejetée par les acteurs avec lesquels nous avons échangé :

« Niveau traité il n'y a rien sur les débris et il est peu probable que dans un futur proche on réussisse à passer un traité contraignant sur les débris. Je ne pense pas qu'on aille vers cela. » [Expert juridique, agence]

Les Nations Unies se tournent alors vers des mécanismes de *soft law* et préfèrent adopter des résolutions. Cinq années de négociations seront nécessaires pour faire adopter à l'unanimité les « Space Debris Mitigation Guidelines », en 2007. À l'arrivée, le texte apparaît comme une version remaniée, certains disent « édulcorée », des recommandations de l'IADC. La règle des 25 ans, par exemple, a disparu dans la version onusienne. L'adoption de ces guidelines reste une avancée, au moins en termes symboliques :

« Tout le monde dit que c'est super. Franchement, moi je ne crois pas. Le responsable dit : la réussite, ce n'est pas les textes, c'est d'avoir mis 87 pays autour de la table. »
[Ingénieur, firme]

Depuis, la thématique des débris spatiaux est restée à l'ordre du jour des discussions du COPUOS. Plusieurs initiatives ont complété ces premières guidelines, notamment avec la création d'un nouveau groupe de travail spécialisé sur la viabilité à long terme des activités extra-atmosphériques en 2010 qui a mené à l'adoption, en 2019, d'un nouvel ensemble de directives.

Les délégations des pays membres, qui se réunissent tous les ans à Vienne, sont principalement composées de diplomates et de représentants ministériels. Ces personnes ne sont pas des experts

¹⁰ <https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/copuos/members/evolution.html>

scientifiques de l'espace, et encore moins des débris spatiaux, mais des professionnels de la négociation. Comme le turnover est important (on ne reste pas plus de quelques années sur un même poste), ils sont obligés de s'emparer rapidement du sujet. Pour y parvenir, ils sont assistés par des équipes d'experts techniques. Sur la question des débris, ce sont pour la plupart des experts d'agences spatiales, mais également des universitaires, par exemple sur les questions juridiques. Ces équipes doivent guider les diplomates et leur fournir tout le support technique dont ils peuvent avoir besoin pour construire leur argumentaire. Une de ces diplomates, appartenant au ministère des Affaires étrangères raconte :

« On n'est pas formé au ministère sur les questions spatiales. Demain, je serai nommée au Moyen-Orient ou sur de la diplomatie économique. Finalement, on est toujours les moins connaisseurs du sujet. On a les experts de [notre agence spatiale], on fait appel à eux pour qu'ils nous orientent. On a les idées au niveau politique et ils vont nous expliquer si c'est possible de mettre en place ou non. On s'en remet à leur expertise. »
[Membre délégation COPUOS]

Les discussions sont structurées selon des règles strictes et complexes, typiques des grands organes de régulation internationale. Pour évoquer un sujet lors d'une session, il faut d'abord l'inscrire à l'ordre du jour, puis constituer un groupe de travail et décider de sa composition. Ensuite, le groupe de travail élabore une proposition de texte, qui est soumise à l'ensemble des membres, discutée, amendée, avant d'être éventuellement acceptée. Tout au long du processus, les discussions se déroulent sur plusieurs niveaux. Les diplomates échangent de manière formelle, par le biais des déclarations en séance plénière et au sein des groupes de travail, en même temps qu'ils entretiennent entre eux des relations informelles, en dehors des assemblées, ce qui permet de former des alliances ou de se mettre d'accord en amont sur des positions communes. Les pays peuvent avoir recours à différentes stratégies pour faire pencher la balance en leur faveur. Parfois, certains choisissent de prendre les devants en mettant sur la table un « position paper », fournissant un support de discussion pouvant éventuellement orienter les débats. D'autres préfèrent attendre de voir ce que disent leurs homologues avant de se positionner :

« On évalue les marges de manœuvres, les positions, la flexibilité ou la rigidité de ces positions. Certains ne dévoilent pas leurs cartes. En informel, on essaie de voir les

cartes, de pousser les uns et les autres à les dévoiler. Il y a les contacts dans les groupes affinitaires. Sur 100 États, il y en a beaucoup qui ne sont pas spatiaux, mais qui sont flexibles. On joue sur le fait qu'aucun État ne veut se trouver dans la position de celui qui bloque. » [Membre délégation COPUOS]

Le fonctionnement du COPUOS repose donc sur les règles classiques de la négociation internationale, c'est-à-dire sur des codes spécifiques et sur l'emploi d'un langage dont le maniement requiert la participation de diplomates professionnels. Leurs efforts tendent vers l'obtention d'un consensus. Chaque nouvelle directive doit être approuvée par l'ensemble des participants pour être entérinée, ce qui imprime un rythme très lent, voire laborieux, au processus de prise de décision, par ailleurs bureaucratique et complexe, chaque étape requérant l'assentiment de toutes les parties prenantes, comme en témoignent plusieurs participants :

« Il y a trois semaines, il y avait des discussions au COPUOS pour mettre en œuvre les 21 guidelines, on a décidé de mettre en place un groupe de mise en œuvre. On n'est pas arrivé à se mettre d'accord pour savoir qui pourrait être en charge du groupe. » [Membre Commission Européenne]

« On passe deux ans pour discuter d'une virgule. » [Ingénieur firme]

« On est toujours en retard par rapport à la situation actuelle. La multiplication des acteurs, les nouveaux défis... on a un sentiment, je ne peux pas dire d'impuissance, mais ça va trop lentement par rapport à l'évolution du contexte. » [Membre délégation COPUOS]

Chaque membre a aussi la capacité de ralentir et parfois de bloquer le processus des prises de décision, sans risque de sanction. Par exemple, un expert du droit spatial évoque le comportement des États-Unis, qui utilisent souvent cette stratégie pour favoriser leur approche auprès des autres pays membres. Un expert juridique également membre d'une délégation COPUOS témoigne :

« Les USA font tout pour ralentir les travaux du comité de l'ONU. Ils veulent imposer la norme américaine. C'est très clair. La position des USA est de dire : l'ONU doit

reprendre les pratiques de l'industrie, et à fortiori de l'industrie américaine, la plus puissante. » [Membre délégation COPUOS]

Le blocage des discussions provient également des divergences géopolitiques, qui se sont beaucoup renforcées ces dernières années. Une spécialiste de la négociation internationale explique que les débats au COPUOS se structurent autour de deux pôles : d'un côté les USA, le Japon et les pays européens, de l'autre la Russie et la Chine, qui entraînent d'autres pays dans leur sillage. Ces deux blocs défendent des approches très différentes. Les Russes tentent depuis des années d'imposer un projet de traité international sur l'interdiction d'armes spatiales. Du côté européen, on préfère promouvoir les règles de comportement. Il y a quelques années, un code de conduite avait été proposé dans ce sens. Sa mise en place a échoué suite à une série de maladresses, mais l'intention européenne reste intacte. À de nombreux égards, ces approches semblent irréconciliables, chacun campant sur ses positions :

« Il y a deux agendas concurrents sur la scène internationale : le russo-chinois qui prône un traité d'interdiction de certaines armes, qui ne nous va pas, et le nôtre, un agenda sur les comportements plutôt que les armes, les objets. On préfère la notion de comportements qui vont être dangereux ou menaçants plutôt que des objets en soi. »
[Membre délégation COPUOS]

La multiplication du nombre de pays membres augmente également la diversité des positionnements, des intérêts poursuivis et des points de vue sur le problème. Le tout finit par former un ensemble hétéroclite qu'il devient difficile de faire converger. Cela se traduit aussi par l'incapacité de condamner fermement le comportement des membres. Rappelons d'abord que les directives adoptées par les pays au COPUOS n'ont pas de caractère contraignant. Ce sont des règles volontairement adoptées. Légalement, donc, aucune sanction ne peut être prise contre un pays qui ne respecterait pas ses engagements. La situation s'est d'ailleurs déjà présentée à plusieurs reprises. En 2007, alors qu'elle vient d'adopter les « Space Debris Mitigation Guidelines » auprès des autres membres du COPUOS, la Chine réalise un tir de missile sur un de ses vieux satellites météorologiques. La collision génère plus de 3000 débris et constitue un des accidents volontaires les plus graves jamais survenus en orbite. Un membre du comité se souvient :

« Le test ASAT de la Chine a révélé la dichotomie entre les militaires chinois et les délégués COPUOS de la Chine. Ils n'étaient pas du tout au courant du test. Quand ils ont appris ce qui se passait, les délégués chinois ne savaient plus où se mettre. Ça a mis en évidence un dysfonctionnement entre les diplomates, les gens de l'activité spatiale civile et les gens de l'armée populaire. » [Membre délégation COPUOS]

La situation se reproduit en 2019 avec un tir de missile antisatellite réalisé par l'Inde. Les représentants de la délégation indienne au COPUOS prennent la parole, sans évoquer l'accident, « comme si de rien n'était ». Malgré les tentatives de « naming and shaming » de certaines ambassades, les réactions diplomatiques sont limitées à des condamnations indirectes et au rappel des engagements préalables. On remarque que la « peer pressure » qui semblait fonctionner dans la négociation des textes au sein du COPUOS ne produit ici aucun effet. Un membre de délégation déclare :

« De manière inédite, l'UE et les États membres ont prononcé une déclaration, en plus de la déclaration classique pour condamner ... plutôt pour « rappeler » l'importance des mesures de transparence et de confiance. La déclaration a vraiment été un moyen de rappeler la priorité donnée à la réduction des débris spatiaux. » [Membre délégation COPUOS]

La même personne décrit le COPUOS comme « un cadre de dialogue assez feutré, sans politisation des débats », dont l'objectif serait de lisser les conflits politiques entre la centaine de pays membres, qui poursuivent tous des intérêts très divers et sont polarisés autour de deux blocs apparemment irréconciliables. Le but est de réussir à inciter les États membres à adopter volontairement de nouvelles directives et de les appliquer, bien qu'il ne soit pas possible de les sanctionner s'ils ne le font pas.

Quel intérêt ont les pays à continuer de mobiliser des ressources autour de la préparation et de l'animation de ce forum, dont on connaît les lenteurs et les dysfonctionnements ? Le COPUOS est le seul forum international qui permette de rassembler tous les pays, sans les distinguer en fonction de leurs capacités spatiales.

« Si on veut faire adopter les choses au niveau international, il faut passer par le COPUOS. Si on veut contourner le COPUOS, ça irrite tout le monde. Les pays y tiennent. » [Expert agence]

Même des pays qui n'ont jamais lancé de satellites peuvent assister et participer à l'élaboration des règles internationales, ce qui garantit une forme d'équité, remise en question dès que l'on passe à un niveau régional ou bilatéral, comme l'a montré l'échec du code de conduite européen. Ensuite, maintenir ce forum et poursuivre les discussions permet d'anticiper. Il faut entretenir une structure de discussion pour pouvoir être en mesure de la mobiliser rapidement le jour où cela deviendrait nécessaire, par exemple suite à un très grave accident en orbite. Le COPUOS a donc un rôle en lui-même :

« Garder un dossier qui n'avance pas à l'ordre du jour fait partie de notre travail. Le jour où quelque chose se débloque, on doit avoir une enceinte qui peut le traiter. Même si tout est bloqué à Vienne peut-être qu'un jour ça se débloquera. » [Membre délégation COPUOS]

Cette institution, malgré tous ses défauts, continue donc de jouer un rôle central dans la régulation des questions spatiales et plus particulièrement dans la régulation des débris spatiaux. Elle permet de maintenir un dialogue international entre les acteurs étatiques :

« It's the only place where all actors can sit together and discuss. Trying to find a solution is part of the solution itself. In the absence of dialogue, you drift to a world conflict. People think about concrete results. But one of the goals is to express countries concerns. COPUOS is not a military forum. It's the only place you have all the states, and, conceptually at least, on the same level. We are grounding the principles of the Space Treaty. Forum should serve that purpose, to promote dialogue. People say it's too slow, it's too soft. But what is the replacement for COPUOS? Nothing else will pave the way. » [Membre délégation COPUOS]

Pourtant, tous les acteurs que nous avons rencontrés ne sont pas de cet avis. Si les tenants de la régulation internationale voient le COPUOS comme l'unique forum légitime et capable de mener à bien les négociations, d'autres considèrent que les limites de ce genre d'arènes de

régulation sont trop importantes pour être surmontées. Il est nécessaire d’impliquer un autre groupe d’acteurs, non-étatiques : les industriels, c’est-à-dire les constructeurs, les opérateurs de satellites et leurs clients.

« Je pense que les États ou les pairs n’ont pas la légitimité, on ne peut pas aujourd’hui légiférer de façon internationale donc on est obligé de pousser cette pression sur les utilisateurs, les clients qui vont acheter le service, si le service correspond à une question d’éthique. » [Expert agence]

Ce sont eux qui pourraient porter la responsabilité et l’initiative.

« Beaucoup parlent d’une régulation internationale. Mais c’est très rare d’avoir des régulations internationales. Il n’y a qu’un succès, le protocole sur l’ozone. Le CO2, la COP 21, est un échec. “On ne peut rien faire tant qu’il n’y a pas une régulation internationale”, c’est une vraie excuse pour ne rien faire, je suis profondément contre cette idée. Non, les techniciens sont d’accord et ont fait une norme ISO : en fin de vie, il faut passiver et libérer l’orbite. C’est un pas en avant essentiel. Pourquoi faudrait-il une régulation mondiale ? Non, ce qu’il y a à faire est clair. Il suffit que chaque pays le fasse. Dans l’espace, on a la notion de launching state, donc la norme ISO suffit. »
[Expert agence]

La norme dont parle ce dernier interlocuteur est produite par un autre forum, international, lui aussi, mais mixte. Il s’agit de l’International Standards Organization (ISO).

2.4. L’ISO (International Standards Organization)

L’ISO est l’incarnation du mouvement de globalisation de la régulation, dans lequel la mise en place de standards, coûteux, remplace peu à peu d’autres formes de régulation publique (Büthe & Mattli, 2013). Cette organisation produit des standards à destination du secteur spatial et de ses industriels depuis les années 1980 au sein du comité technique ISO/TC20. En 2003 se forme un nouveau groupe de travail consacré à l’élaboration d’un standard sur les débris spatiaux. Un de ses anciens directeurs raconte l’origine de la formation de ce sous-comité :

« It started shortly after the guidelines from IADC in 2002. The industry looked at the document. But the language of the document is such that at best you can find recommendation. The language is very loose and it was found to be something with which the industry could not work with. We could not use this language in a contract with a supplier for example. For that reason, industry players wanted a better document they could look at. » [Membre comité ISO]

Le besoin d'un standard ISO sur les débris spatiaux naît donc d'un problème de traduction. Pour que les recommandations formulées par l'IADC soient reprises et appliquées par le secteur industriel, il faut qu'elles soient traduites dans le langage de l'industrie. Il s'agit de détailler concrètement les modalités de mise en place des recommandations afin de fournir aux acteurs de l'industrie un outil clé-en-main, précis et clair, directement utilisable. Un expert international, siégeant au sein des deux forums, explique cette traduction à travers un exemple :

« À l'IADC, on dit qu'il ne faut pas générer de débris. À l'ISO on dit qu'il ne faut pas générer de copeaux de peinture, de capots de tuyères ou de télescope, de débris pyrotechniques. Derrière, on déplie, on explique techniquement ce que veut dire ne pas relâcher de débris. » [Expert agence]

Cette recherche de clarté et de précision technique se traduit jusque dans l'architecture des standards. En effet, le sous-comité tient à distinguer les « top-level requirements », qui énoncent des exigences globales, comme la règle des 25 ans, avec d'autres standards complémentaires plus spécifiques, qui viennent compléter les premiers en détaillant précisément les modalités d'application concrètes.

Alors que le COPUOS est un forum politique et l'IADC un forum scientifique, l'ISO est un organisme de normalisation technique, qui ne comporte aucune dimension politique, mais qui introduit les considérations économiques et techniques :

« À l'IADC, c'est vraiment une discussion scientifique. A l'ISO, on va discuter de ce qu'on peut faire compte tenu des contraintes économiques. Les négociations sont très différentes dans les deux organisations, même si elles traitent du même sujet. » [Expert agence]

Il s'agit ensuite d'une différence de processus de sélection des membres. Contrairement à l'IADC et au COPUOS, l'ISO accueille des acteurs non-étatiques. Ses membres officiels sont des pays (au nombre de seize, avec onze pays observateurs) représentés par leurs agences de normalisation. La France, par exemple, est représentée par l'AFNOR (Association Française de Normalisation). Ensuite, chaque pays est libre de former sa propre délégation nationale, dans laquelle il peut choisir d'inviter les acteurs de son choix pour participer aux débats. Les délégations comportent de nombreux acteurs privés, notamment des industriels comme Airbus et Thalès Alenia Space, Ariane espace. On y rencontre aussi de nombreux représentants d'agences spatiales, ainsi que des juristes, des universitaires, des assureurs. Les membres se rassemblent lors d'une réunion annuelle, qui compte jusqu'à une cinquantaine de personnes. Les délégations officielles sont souvent complétées par un « mirror committee » au niveau national.

La présence des acteurs industriels dans les discussions est une des caractéristiques principales de ce forum hybride. Ils ne sont pas là en tant qu'observateurs, mais sont activement impliqués dans la rédaction des standards. Selon les acteurs, ce standard industriel, pensé pour être directement utilisé par des constructeurs et des opérateurs, rencontre un large succès au sein du secteur spatial :

« L'ISO c'est aujourd'hui le meilleur levier international car cela a un caractère transnational. C'est un organisme qui n'est pas étatique, qui fait de la normalisation donc les industriels font partie des membres qui y travaillent. C'est un document qui est aujourd'hui le plus abouti et sur lequel on peut vraiment s'appuyer pour faire les mitigations. Par contre c'est un document contractuel. Aujourd'hui un client peut passer un contrat avec un industriel en rendant l'ISO applicable et à ce moment-là l'industriel se doit de montrer à son client qu'il respecte la norme ISO. » [Expert agence]

Il présente l'avantage d'être directement utilisable, flexible, de s'adresser aux acteurs étatiques comme aux acteurs non-étatiques et d'être issu d'un organisme de standardisation mondialement reconnu.

Le sous-comité de l'ISO consacré aux débris spatiaux se caractérise aussi par la lenteur de son processus. En règle générale, un standard ISO est publié en 3 ou 4 ans. L'ISO 24-113 sur les débris spatiaux ne paraît qu'après huit années de travail et de négociation. Une version mise à

jour est parue en 2019, après huit autres années de travail, alors que les révisions sortent en moyenne tous les 5 ans. Les standards sur les débris spatiaux et leurs mises à jour ne sont pas publiés suffisamment vite pour réussir à suivre l'évolution de l'environnement spatial.

« Le standard est sorti l'année dernière [version mise à jour publiée en 2019] et entre-temps on a développé les méga-constellations. C'est une base pour tout le monde. Mais c'est déjà dépassé. Du coup, on a eu les coalitions. » [Expert agence]

Ici, l'expert fait référence aux coalitions d'acteurs privés qui ont émergé dans le but de faire avancer plus vite la production de standards. Elles constituent le cinquième type de forum de régulation.

2.5. Les coalitions d'acteurs privés

Étant donné le nombre d'acteurs impliqués, la diversité du niveau de développement de leurs capacités spatiales et de leurs intérêts respectifs, sans compter les divergences des agendas politiques et les enjeux de sécurité, on pourrait comprendre que ces textes mettent du temps à être élaborés et acceptés. Pourquoi le rythme de publication des règles semble-t-il si important pour les acteurs ? Au tournant des années 2015, cependant, l'évolution de l'environnement spatial s'accélère. SpaceX dévoile Starlink, son projet de méga-constellation de 12 000 satellites dont la mise en orbite multiplierait par six le nombre de satellites dans cette région orbitale. Se multiplie également le lancement de Cubesats, des satellites peu chers à construire et à lancer, intégrant rarement des technologies de désorbitation. La sécurité des activités spatiales est placée au centre de l'attention et suscite la réaction d'acteurs qui n'étaient jusque-là pas directement impliqués dans la création de règles. Non-étatiques, privés, ils se rassemblent en coalitions pour formuler leurs propres best practices :

« Les coalitions sont venues du fait que l'espace a vraiment changé. Or, les organismes ont été lents à réagir. À mon avis, elles sont nées de cela. Le but était d'identifier les problèmes, de les mettre au jour, de montrer que tous les opérateurs font face au même problème. »
[Expert agence]

« *Why state-actors are taking action? That's because of frustration that there has not been more action. Non-state actors can have an influence even if the government does not do anything.* » [Membre organisation à but non-lucratif]

En 2019, Daniel Oltrogge crée la Space Safety Coalition. Cette organisation « ad hoc » ne dispose pas de bureau officiel, mais propose un ensemble de best practices qu'une quarantaine d'acteurs s'engagent à respecter. Parmi eux, on trouve des opérateurs (comme OneWeb), des startups technologiques (comme Astroscale), des assureurs (comme Axa), des organisations de régulation (comme l'ITU), des associations (comme la Secure World Foundation), des constructeurs (comme Airbus). Les agences spatiales ne sont pas des membres officiels. Cependant, des membres de l'ESA confirment qu'ils ont été impliqués dans le processus de création et d'élaboration des best practices :

« *We wanted to make sure they apply the good practice and be better than ISO. The self-commitment is that they endorse what IADC and ISO propose, and then add other guidelines. ESA is at the initiative. We could be a member, but it's always a very long bureaucratic process.* » [Expert agence]

Pour les industriels, participer à ces groupements présente plusieurs avantages. Cela participe à améliorer leur réputation auprès du grand public, mais aussi de leurs clients et des régulateurs. Le représentant d'un constructeur résume :

« *En termes d'image, on a plus à perdre de ne pas y être que d'y être.* » [Ingénieur firme]

Participer à ces groupements n'est ni très coûteux, ni très engageant pour les firmes car les best practices auxquelles ils acceptent de souscrire n'ont pas de caractère contraignant. C'est un engagement de principe, volontaire, dont la mise en place ne peut pas faire l'objet d'un contrôle et encore moins de sanctions. Malgré leur caractère volontaire, les best practices de la Space Safety Coalition forment un ensemble particulièrement exigeant. Elles combinent les règles des trois forums précédemment évoqués, c'est-à-dire les recommandations techniques de l'IADC, les *Guidelines for the Long-Term Sustainability of Outer Space Activities* du COPUOS, et le standard 24-113 de l'ISO, et sont complétées par d'autres règles nouvelles.

« La Space Safety Coalition est suffisamment importante pour ouvrir un petit chapitre. Tout le monde en parle. Moi, ça me fait un peu peur. Ce sont des règles très demandantes, on est à 95%. Ça va avoir un gros impact en coût sur les satellites. Il faudrait que ce soit accepté par tout le monde. Il faudrait que les industriels aient des gammes compatibles et des gammes moins exigeantes ». [Expert firme]

D'autre part, certains observateurs soulignent également la coloration américaine de ces coalitions, souvent menées par des acteurs industriels américains, qui proposent et vendent parfois des solutions au problème des débris spatiaux, notamment l'analyse de données de tracking ou de désorbitation. Sur la Space Safety Coalition, par exemple :

« Je prétends que beaucoup d'industriels ont signé sans lire et sans faire l'analyse. C'est pervers, mais il y a des choses qui fléchent du business vers certaines sociétés comme Lockheed-Martin. Il faut faire attention. C'est américain, ça flèche le business vers les USA. » [Expert firme]

La production de best practices au sein d'organismes non-étatiques s'est multipliée. On en trouve au sein de la Satellite Industry Association (SIA), par exemple, ou du consortium industriel CONFERS (Consortium for Execution of Rendezvous and Servicing Operations).

« Sur tout cela, il y a des groupes de travail pour essayer de trouver des standards. Le groupe de travail CONFERS pour les régulations d'in orbite servicing. C'est un groupe d'industriels qui veut proposer aux régulateurs des standards de safety. Et derrière un objectif plus commercial. Si on veut faire du servicing, il faut que tous les satellites embarquent les mêmes technologies (systèmes de capture, d'interfaces, des poignées standardisées). » [Ingénieur firme]

Ces organismes n'ont pas de pouvoir de régulation et n'ont pas été créés pour répondre au problème des débris spatiaux. Toutefois, ils intègrent la problématique et produisent, eux aussi, des règles, non-contraignantes, qui viennent s'ajouter à la cohorte des textes existants.

Le Tableau 8 résume les forces et les faiblesses de chacune des sources de régulation des débris spatiaux que nous avons évoquées dans cette section et met en évidence plusieurs contradictions. Le problème se déploie à l'échelle globale, et appelle une régulation globale, alors que les forums de régulations internationaux font l'objet de blocages diplomatiques. Comme le problème concerne tous les utilisateurs de l'espace, il semble nécessaire d'impliquer des acteurs variés, ce qui peut ralentir le rythme de publication des règles. Les forums plus homogènes risquent, au contraire, de ne produire des règles qui ne peuvent pas s'adresser à tous. Aucun forum n'emporte l'unanimité des acteurs ni ne réussit à combiner les intérêts de toutes les parties prenantes. Tous ont quelque chose que les autres n'ont pas.

Les règles portant sur les débris spatiaux proviennent de différentes sources. Elles sont produites au niveau national, par les agences ou les États, mais également au sein d'organismes internationaux. La composition de ces organismes varie : certains sont inter-agences et composés d'experts scientifiques, d'autres interétatiques et composés de diplomates, d'autres sont inter-firmes, composés d'ingénieurs, d'autres sont mixtes. Ces forums interviennent à des échelles différentes, nationale, régionale et globale. Certains ont un pouvoir de régulation légitime (les États, le COPUOS, l'ISO), d'autres non (l'IADC, les coalitions d'acteurs privés). Tous développent des modes de régulation différents et comportent à la fois des avantages et des inconvénients, ce qui les rend particulièrement complémentaires.

Ces forums variés produisent de nombreuses règles, qui ne semblent pas toutes jouer le même rôle. Selon quel critère peut-on distinguer les différents types de règles produites sur les débris spatiaux ? C'est la question qui sera abordée dans la section suivante.

| | Avantages | | Inconvénients | |
|---------------|---|---|---|--|
| États | Principe de « liability » qui encourage les États à réguler | « Il y a un mouvement général vers la loi. Les pays commencent vraiment à légiférer. L'État se couvre et encourage le développement d'activités spatiales dans son pays parce que ça donne un cadre et ça encourage à développer les activités. De plus en plus d'États entrent dans le secteur spatial et développent des réglementations spatiales. » [Expert juridique agence] | Phénomène de forum shopping Risque pour la compétitivité des industriels | « Aucun pays n'a envie d'avancer vers un régime contraignant avant les autres. Ce serait se tirer une balle dans le pied. » [Expert État] « La France, les USA ont mis en place un cadre contraignant, d'autres ne le font pas. Le Luxembourg n'a pas de régime d'autorisation avec des règles contraignantes en matière de débris. » [Expert juridique agence] |
| COPUOS | Intégration de l'ensemble des pays (équité), Légitimité | « It's the only place where all actors can sit together and discuss. » [Membre délégation COPUOS] « People say it's too slow, it's too soft. But what is the replacement for COPUOS? Nothing else will pave the way. » [Membre délégation COPUOS] | Lenteur, Blocages diplomatiques | « Mais [le COPUOS] est aujourd'hui complètement bouché, paralysé, parce que le contexte politique a changé, beaucoup de pays et trop de divergences d'intérêts entre les activités spatiales et les pays. » [Expert juridique agence] « Le COPUOS n'a rien sorti de tangible et de fort depuis quarante ans. » [Ingénieur firme] |

| | | | | |
|--|--|--|---|---|
| IADC | Indépendance, Forum de référence | « L'IADC, c'est la Bible. » [Expert agence, membre IADC] « On a besoin d'un forum coupé des implications économiques, politiques, un forum scientifique. Tout ce qui sort de l'IADC est fondé sur le consensus. » [Expert agence, membre IADC] | Lenteur, Considérations politiques et économiques, Jargon scientifique | « L'IADC ne sort plus rien de fort. Ils sont devenus Onusiens. Ils n'ont pas été capables de faire quelque chose sur les méga-constellations » [Expert firme] |
| ISO | Introduction de considérations économiques, Outil clé-en-main, Mixité | « Ce qui est remarquable, c'est l'ISO. Ils essaient de combler la vacance de l'IADC. Tout le monde est volontaire pour ça [...]. Là, ça fait avancer les choses. » [Ingénieur firme] | Lenteur | « Une norme ISO, le rythme est très lent. Sur un sujet nouveau, 3/4 ans. Or, les choses évoluent beaucoup plus vite. » [Expert firme] |
| Coalitions d'acteurs privés | Rapidité, Intégration des acteurs privés dans le processus de régulation | « La Space Safety Coalition est en avance sur les instruments internationaux. » [Membre coalition] « Non-state actors can have an influence even if the government does not do anything. Changing the discussion. It can help. » [Membre organisation à but non-lucratif] | Déclaration d'intention, Règles trop ambitieuses, Biais américain | « C'est un coup marketing. Ils ont fait cela très bien. Je prétends que beaucoup d'industriels ont signé sans lire et sans faire l'analyse. C'est pervers, mais il y a des choses qui flèchent du business vers certaines sociétés comme Lockheed-Martin. Il faut faire attention. » [Expert firme] |

Tableau 8 Avantages et inconvénients des forums de régulation

3. Le rôle des règles, entre approche verticale et horizontale

Les règles sont produites au sein de forums de régulation divers dans leur composition et dans leur fonctionnement, présentant chacun des avantages et des inconvénients. Quels types de règles ces forums visent-ils à produire ? On peut d'abord faire l'hypothèse qu'ils cherchent à produire des règles de type *forcing modal*. Mais l'on observe le rôle central et l'importance de la *soft law* dans la régulation sur un problème comme les débris spatiaux (2.1). Si on ne peut pas catégoriser les règles de manière hiérarchique, comment les distinguer les unes des autres ? Une autre type de catégorisation est présentée à la fin de ce chapitre (2.2).

3.1. L'objectif des forums quant à la nature des règles produites

On peut d'abord considérer que l'objectif des forums est de produire de la *hard law*. La *soft law* étant envisagée comme une étape préliminaire de formulation de règles avant leur durcissement en *hard law* :

« Pour les juristes, il y a une hiérarchie des règles. En bas, ce sont des best practices (coalitions, IADC), c'est-à-dire des usages. Les lois commencent souvent par figer les best practices. On a un décret d'un ministre ou plusieurs, ensuite on a la loi nationale. La couche au-dessus, c'est le niveau international, les traités. (...) Le COPUOS ne donne que des guidelines mais il pourrait durcir. Ce serait un traité international. L'ISO s'approche peut-être plus du réglementaire. (...) Mais il y a de bonnes choses dans l'ISO. On aurait pu transformer des normes ISO en décret. Mais il aurait fallu réécrire. C'est clair techniquement, mais ce n'est pas forcément transposable en droit. » [Expert juridique]

Dans cette vision hiérarchique, l'objectif est donc d'atteindre l'échelon de la loi nationale, ou le *forcing modal*. Ce raisonnement implique d'abord que le droit national est plus fort que le standard, et que le rôle du standard est de préfigurer le droit national. Or cette vision semble réductrice par rapport à la portée de la *soft law* et au fonctionnement du système de régulation tel que nous l'avons observé empiriquement. On peut d'abord remettre en question l'idée d'une hiérarchie des règles, dans un système où les lois nationales apparaissent en îlots, sans possibilité d'atteindre un traité international. Ensuite, il semble que les standards peuvent jouer

des rôles autrement plus variés que celui de préfiguration de la *hard law*. Par exemple, à l’instar de la régulation nationale, les règles non contraignantes peuvent aussi avoir un impact direct sur le comportement des acteurs comme le montre le standard ISO, outil clé en main directement applicable par les acteurs. On observe donc non seulement des règles qui relèvent du droit national, mais notamment des formes de co-régulation ou de régulation hybride (Aggeri 2005; Micheaux, Aggeri 2019), dans lesquelles les États s’unissent avec d’autres acteurs, notamment privés, pour produire collectivement des règles dont le respect est fondé sur la confiance réciproque. La régulation privée occupe une place de plus en plus importante dans ce système de règles, notamment à travers l’éclosion de nouvelles coalitions.

3.2. Différents rôles pour les règles de *soft law*

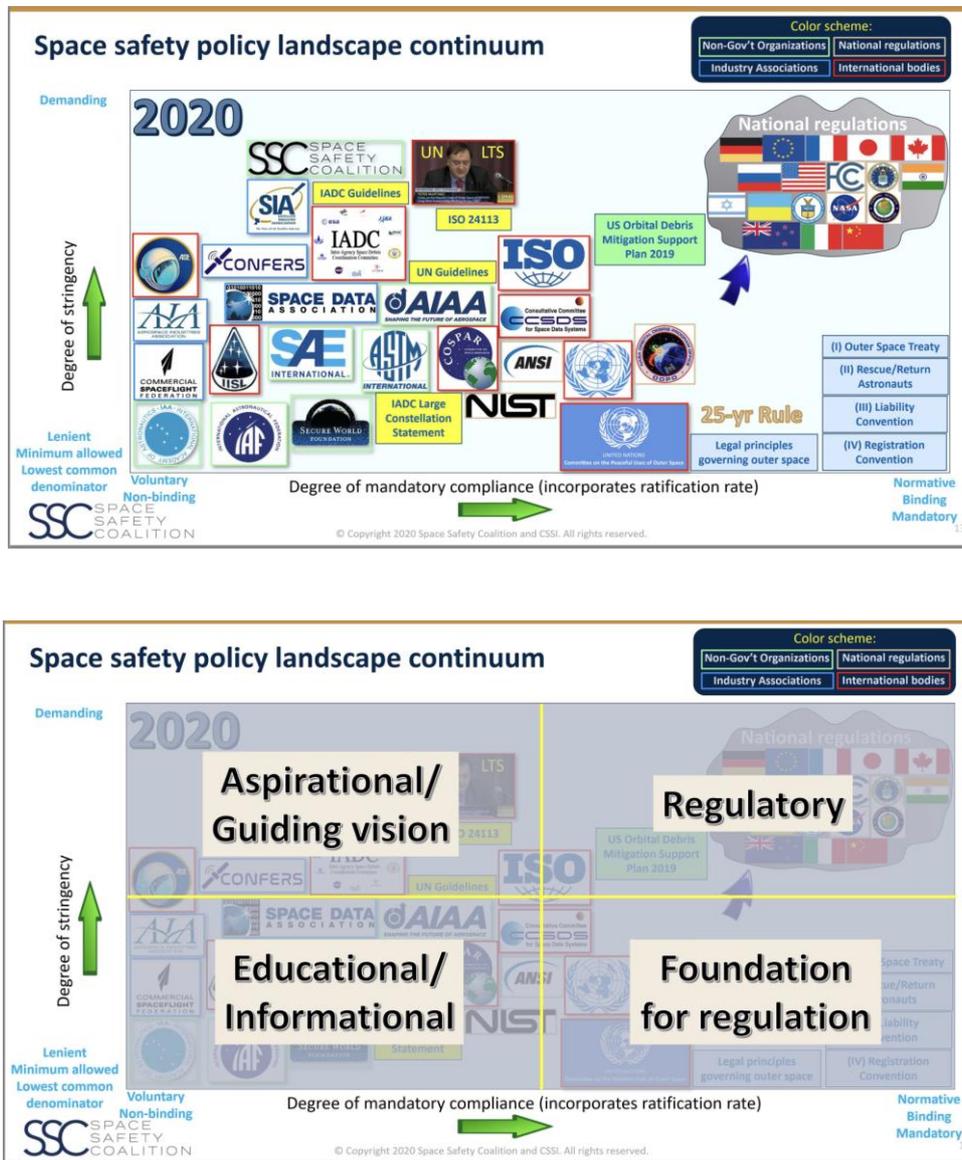
Parmi les données secondaires utilisées au cours de cette thèse figurent plusieurs présentations faites par les intervenants lors des sessions du COPUOS. L’une d’entre elles provient de la Space Safety Coalition et proposait justement sur une catégorisation des différents types de règles portant sur les débris spatiaux¹¹.

Ces deux slides proposent une typologie répartie autour de deux axes : l’exigence du texte réglementaire, pouvant être plus ou moins forte (*demanding*) ; et le degré de contrainte auxquels sont soumis les acteurs, pouvant être plus ou moins important (*binding*). Quatre groupes de règles se répartissent autour de ces deux axes. Certaines ne sont ni contraignantes, ni exigeantes, et jouent un rôle « éducatif et informationnel ». D’autres ne sont pas contraignantes mais exigeantes, et qualifiées de visionnaires ou inspirantes. Celles qui sont contraignantes mais pas exigeantes, comme les traités onusiens, servent de base à la dernière catégorie de règles, exigeantes et contraignantes, incarnées dans les régulations nationales.

Cette typologie est particulièrement intéressante car elle suggère la diversité du rôle des règles. Néanmoins, il nous semble que l’utilisation des critères d’exigence et de contrainte empêche de souligner la diversité des rôles au sein de mêmes catégories. Ainsi, les best practices des coalitions, les règles de l’IADC, du COPUOS ou de l’ISO sont rassemblées dans la catégorie des inspirantes. Or nous avons vu qu’il existe des différences importantes entre un principe de l’IADC, une guideline du COPUOS, un standard ISO ou les best practices de la Space Safety Coalition, que ne permettent pas de retranscrire cette typologie. En repartant des catégories de

¹¹ La présentation est disponible à l’adresse suivante : <https://www.unoosa.org/documents/pdf/copuos/stsc/2020/tech-20E.pdf>

cette typologie, nous proposons dans la suite de cette section une nouvelle manière d’envisager le rôle des règles.



D’abord, les règles peuvent avoir un rôle explicatif. Les règles de l’IADC, par exemple, mais aussi les best practices produites par de nouveaux groupes d’acteurs ont pour objectif d’expliquer pourquoi tel comportement est souhaitable, ou pourquoi « il ne faut pas ». On retrouve ici l’idée de *logos* de Anscombe, et le processus d’apprentissage de la règle. D’autres règles semblent avoir été formulées pour légitimer le problème. C’est le rôle des guidelines du COPUOS, qui ont permis de faire entrer la notion de débris dans cet organe des Nations Unies et de l’inscrire dans la liste des sujets d’échange :

« À partir du moment où on plaçait ça sur la table du COPUOS, les gouvernements ont commencé à s’y intéresser. » [Expert senior agence]

Certaines règles semblent aussi exister pour servir de support à de nouvelles règles. Les guidelines du COPUOS permettent de s’assurer l’alignement des différents pays sur la question des débris spatiaux et sont censées encourager l’adoption de réglementations nationales. De son côté, l’IADC publie des guidelines techniques, qui n’ont en théorie ni dimension politique ni dimension économique, mais qui servent de support aux autres forums de régulation, comme le COPUOS, l’ISO ou les coalitions d’acteurs privés. En décrivant un objectif plutôt qu’une manière de procéder, elles se rapprochent des principes.

Les règles produites dans les différents forums ne sont pas toutes des forcing modals et ne sont pas toutes destinées à le devenir. Contrairement à cette vision hiérarchique des règles, la *soft law* peut avoir un impact direct sur le comportement des acteurs. De plus, elles peuvent jouer un rôle majeur dans la légitimation du problème, le processus d’apprentissage des acteurs, et la formulation de principes directeurs de l’action.

À présent que nous avons constaté la diversité de la nature des règles, de leur source de production et de leur rôle, nous nous intéressons à la manière dont elles sont articulées les unes aux autres dans le système de régulation.

4. Articulation entre les règles et les forums

On a vu dans la section précédente que certaines règles ont pour rôle d’encourager et de permettre la production d’autres règles. Il existe donc une relation entre les différentes règles et entre les différents centres, qu’explore cette section.

On remarque d’abord une circulation de l’information entre les différents forums. Ces derniers communiquent entre eux sur leurs activités respectives, principalement à travers le COPUOS. Chaque année depuis sa création, l’IADC présente l’avancée de ses travaux et les projets à venir devant les membres du COPUOS. Le sous-comité ISO y a également fait une présentation à

l'occasion de la mise à jour de ses guidelines¹². De leur côté, les initiatives privées ne sont pas en reste. Les activités du consortium CONFERS ont été présentées lors de la dernière session de 2022¹³, tout comme les avancées du Space Sustainability Rating lancé par le World Economic Forum¹⁴. Le COPUOS est également le lieu où l'on peut discuter des initiatives au niveau national. Les délégations des pays qui le souhaitent peuvent faire part de leurs avancées au sein du sous-comité juridique. Lors de la dernière session de 2022, par exemple, ont été présentées l'approche du Royaume-Uni ainsi que de la gouvernance spatiale chilienne. La communication entre les forums est centrale et permet de faire circuler les informations sur l'évolution de leurs activités respectives.

Mais les forums ne se contentent pas de se tenir informés des activités de leurs voisins. Entre eux circulent non seulement de l'information, mais également des textes de règles. Au moment de l'élaboration d'une règle, les acteurs regardent ce qui existe déjà et s'en inspirent :

« La LOS n'est pas partie de rien : elle a mis par écrit des réglementations qui étaient déjà appliquées par ailleurs. » [Ingénieur firme]

« L'ESA a la capacité de faire un standard interne mais a préféré se baser sur la norme ISO. In fine, c'est assez proche de la loi française et de la NASA. » [Ingénieur firme]

Un expert d'agence spatiale décrit la circulation des règles comme un enchaînement entre les différents forums :

« C'est un processus avec des cycles. L'IADC dit ce qu'il faudrait faire et ensuite on a ces organismes plus techniques comme l'ISO et l'ECSS en Europe qui appliquent. Un pays veut lancer un Cubesat, il faut pouvoir lui dire ce qu'il doit faire. L'ONU est plus politique. Les guidelines (...) ne donnent pas de date pour le removal. C'est plus un objectif politique. Ce sont des policy goals, ils ne sont pas actionnables. Donc, à nouveau, il faut traduire pour les opérateurs. Ensuite, les opérateurs eux-mêmes ont

¹² https://www.unoosa.org/documents/pdf/copuos/stsc/2022/39_ISO_-_20220214_ISO_Briefing_to_UN_COPOUS_STSC_Oltrogge_VI.pdf

¹³ https://www.unoosa.org/documents/pdf/copuos/stsc/2022/16_USA_Weeden_CONFERS_briefing_to_STSC_DRAFT_2Feb2022.pdf

¹⁴ https://www.unoosa.org/documents/pdf/copuos/stsc/2022/03_2022_02_07_eSpace_SSR_presentation_UNCOPUOS_Final.pdf

rejoint ou formé des forums, des coalitions, des alliances. Eux aussi mettent des documents sur le tapis, ce sont des bonnes pratiques. Ce ne sont pas des standards, mais cela répond aux changements dramatiques intervenus, comme les Cubesats et maintenant les constellations. » [Expert agence]

Ce phénomène rappelle un effet de cliquet (Duesenberry, 1949). Chaque règle fait avancer le mécanisme d'un cran supplémentaire, entraînant l'ensemble de la machine dans son mouvement. L'effet cliquet se caractérise par son irréversibilité, car une fois le cran passé, on ne peut pas revenir en arrière. Or dans notre cas, le processus n'est pas strictement linéaire.

Premièrement, les règles sont bien reprises par les forums, mais elles ne sont pas adoptées telles quelles. Chaque forum parle un langage différent et s'adresse à un public différent, et doit donc traduire les règles pour les rendre compréhensibles par son propre public. Ce processus est particulièrement visible dans le cas des guidelines de l'IADC, qui sont reformulées au sein du sous-comité ISO pour les rendre utilisables pour les acteurs industriels. On remarque que le processus de traduction ne s'accompagne pas forcément d'un renforcement des règles. Les guidelines du COPUOS sont le fruit d'une interprétation des règles de l'IADC, mais en proposent une version qui semble simplifiée, moins contraignante, qui omet notamment la règle qui contraint à désorbiter après 25 ans en orbite.

Dans d'autres cas, les règles ne sont pas traduites mais réutilisées, telles quelles. C'est le cas des best practices des coalitions qui sont formées à partir d'un amalgame des différentes règles existantes. Comme le résume un membre d'une coalition :

« Autant s'appuyer sur ce qui existe. » [Membre coalition]

Enfin, d'autres règles circulent sous la forme de propositions. Dans un mouvement de balancier, les coalitions renvoient le résultat de leurs travaux vers les forums dont elles s'inspirent, comme l'ISO ou le COPUOS :

« CONFERS propose des solutions au groupe ISO. » [Ingénieur firme]

« What we are going to do is to implement it to ISO or COPUOS to make them understand what the state of the art is among commercial players and this is very important. » [Membre agence]

Le but est de faire circuler les points de vue des différents acteurs, afin qu'ils soient pris en compte au sein d'autres forums. Les différents mouvements de règles sont résumés dans la Figure ci-dessous :

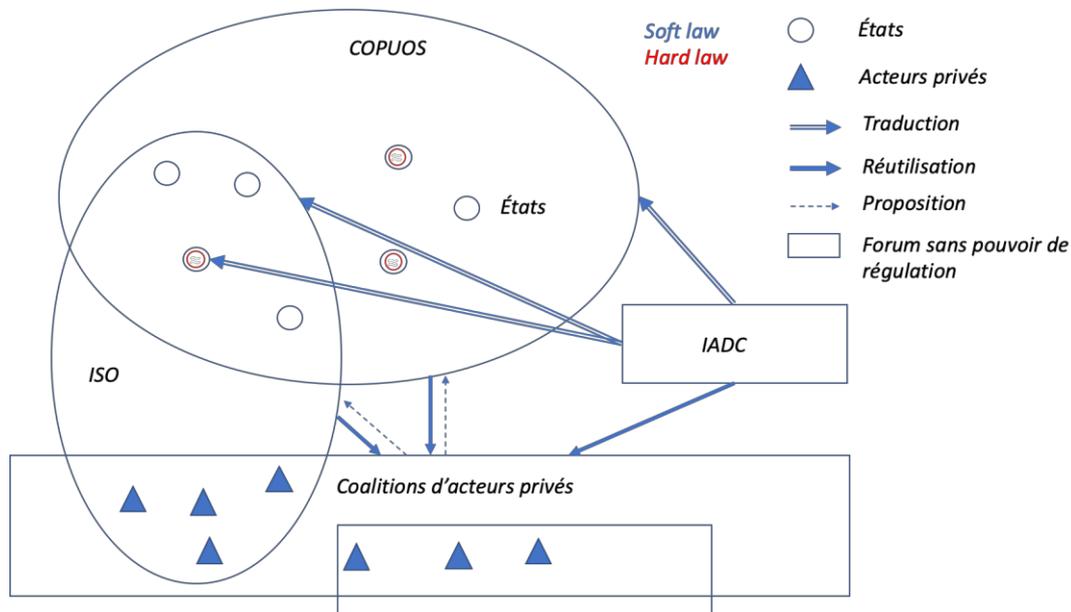


Figure 5 Structure des forums de régulation et liens entre les règles

La cohérence entre les règles produites par des forums très divers est gérée par la circulation de ces règles et de l'information entre les forums. Elles ne sont pas produites indépendamment les unes des autres, mais traduites, reprises, suggérées d'un forum à l'autre.

Le processus de régulation sur les débris spatiaux implique une multitude de centres variés, qui produisent des règles de nature et de forme diverses. On montre dans cette section que cette production de règles ne se fait pas en silo, chaque centre fonctionnant indépendamment des autres, mais de manière transversale. En effet, il existe de nombreux échanges entre les forums. Les règles sont toujours inspirées d'autres règles existantes, qu'elles peuvent reprendre telles quelles ou traduire. Ces nouvelles formulations reviennent ensuite sous la forme de propositions aux forums initiaux, formant des boucles de régulation. L'ensemble forme un système, coordonné, de production de règles.

Conclusion du Chapitre 3.

Pour faire face à une tragédie des communs, Hardin avance une première solution d'une gestion par l'État, c'est-à-dire par une autorité centrale pouvant émettre et appliquer des règles d'utilisation de la ressource. Dans des problèmes globaux, ce type d'autorité centrale peine à émerger, du fait du principe de la souveraineté des États et de la difficulté à atteindre un consensus dans l'élaboration de traités internationaux. La production de règles s'organise autrement, répartie entre plusieurs centres ou forums de régulation, organisés par différentes parties prenantes. À la fois distincts et complémentaires, ces forums produisent des règles qui visent à modifier le comportement des acteurs, mais aussi à légitimer le problème, à l'expliquer, ou à encourager l'apparition d'autres règles. L'ensemble de ces forums, entre lesquels les règles circulent, sont reprises et traduites, apparaît comme un système de régulation organisé. Ainsi, le problème des débris spatiaux ne peut pas être géré par une autorité centrale, au sens de Hardin. Cependant, il fait l'objet d'un système de régulation particulièrement divers et complexe, qui participe activement à la gestion du problème. Le chapitre suivant explore la seconde solution proposée par Hardin : la gestion par le marché.

Résumé du Chapitre 3.

Il n'existe pas, au niveau international, de règles contraignantes imposant des obligations aux différents acteurs quant à la production de débris spatiaux. Cela impliquerait la signature d'un traité qui, en raison des oppositions géopolitiques, paraît improbable, du moins à court terme. Les règles contraignantes existent en revanche au niveau des États, responsables des opérations menées depuis leur sol, dont certains ont fait voter des lois sur l'espace afin de garantir que les lancements se fassent dans les meilleures conditions. Les utilisateurs de l'espace se tournent vers ces États qui garantissent un certain niveau de qualité ou choisissent des pays n'ayant pas adopté de loi et tolérant donc des comportements plus laxistes. Il existe par ailleurs au sujet des débris spatiaux une multitude de règles non contraignantes qui relèvent de la *soft law* ou de la régulation hybride. Ces « standards », au sens de Brunsson et Jacobsson (2005), servent souvent d'appui aux lois votées par les États, mais ils sont aussi plus proches des pratiques, notamment industrielles, des acteurs. Volontairement acceptés, ils jouent un rôle important dans la légitimation du problème, dans le processus d'apprentissage des acteurs, et dans la formulation de principes directeurs de l'action. L'ensemble de ces règles sont produites par des forums variés, qui se déploient à plusieurs niveaux (international, régional, national) et impliquent des acteurs également variés (agences spatiales, États, industriels), qui se complètent.

Chapitre 4 – La gestion par le marché

Selon Garrett Hardin (1968), le problème de la surexploitation d'une ressource naturelle pourrait aussi être résolu par sa privatisation. La création de droits de propriété permettrait de dépasser le dilemme de l'action collective, c'est-à-dire de résoudre la tension entre l'intérêt individuel et l'intérêt collectif. Cherchant à comprendre les racines historiques de la pensée de Garrett Hardin, Fabien Locher explique que « *dans les années 1970 et 1980, [« l'argument hardinien »] est annexé par une pensée néo-libérale en plein essor. La « New Resource Economics » fait de cette supposée « tragédie des communs » l'emblème de sa lutte en faveur de la propriété exclusive comme seul outil rationnel de gestion des ressources. L'argument est mobilisé pour traiter des forêts, des pêcheries, du sous-sol mais aussi des fréquences radio, des places de parking ou de la pollution. Il se diffuse dans la littérature juridique et dans tous les travaux sur la propriété.* » (Locher, 2013, pp. 7-8). Selon cette approche, il existerait un lien de causalité entre absence de droits de propriété et dégradation de l'environnement : poser des barbelés sur la prairie motiverait chaque propriétaire à entretenir au mieux sa parcelle.

Il existe des limites à l'utilisation des droits de propriété comme mode de gestion de ressources surexploitées. Les théoriciens des communs dénoncent notamment le phénomène d'*enclosure*, qui peut non seulement empêcher une partie des utilisateurs d'accéder aux ressources mais également mener à leur destruction (Bollier, 2014). Par ailleurs, toutes les ressources ne se prêtent pas à la privatisation. L'eau ou l'air, par exemple, ont un caractère fugitif, transfrontalier, non-stationnaire. Elinor Ostrom explique dans son ouvrage *Governing the commons* (1990) : « *Il est difficile de savoir ce que sous-entendent exactement les analystes lorsqu'ils ont allusion à la nécessité de développer des droits privés sur certaines ressources communes. Il est clair que lorsqu'ils font référence à la terre, ils prônent sa division en parcelles séparées et l'attribution de droits individuels de détenir, utiliser et transférer ces parcelles selon le bon vouloir des propriétaires individuels (assujettis aux réglementations générales d'une juridiction en matière d'utilisation et de transfert de la terre). Quant aux ressources non stationnaires, telles que l'eau et les pêches, la signification d'un établissement de droits privés est floue.* » (Ostrom, 1990, pp. 26-27). L'espace extra-atmosphérique compte parmi ces ressources « non-stationnaires ». Contrairement à l'espace aérien dont la gestion repose sur l'extension des frontières terrestres, il est difficile d'y imaginer des droits de propriété. Seuls les emplacements des orbites géostationnaires, du fait de leur position stable par rapport à la Terre, pourraient faire l'objet d'une privatisation. Ils sont pourtant gérés

collectivement, par l'intermédiaire d'un organisme chargé d'attribuer les emplacements en orbite aux acteurs qui en font la demande (Buxton 2004).

Il existe d'autres droits que ceux qui relèvent de la propriété : « *En ce qui concerne les ressources fugitives, une diversité de droits peut être établie, au vu des droits individuels d'utiliser des types d'équipements particuliers, d'utiliser le système de ressources à un moment et dans un lieu particuliers ou de soustraire une quantité donnée d'unités de ressources (si elles peuvent être trouvées).* » (Ostrom, 1990, p. 27). Toutefois, imposer un droit d'accès payant à certaines orbites serait contraire aux principes fondateurs du droit de l'espace énoncés dans les traités internationaux, qui garantissent la liberté d'accès à tout acteur disposant des capacités nécessaires : « *In the age of private and commercial wealth, asserting ownership in outer space seems no longer unimaginable, but it may be against international law.* » (Buxton, 2004, p. 700). La solution par la privatisation ne peut pas s'appliquer à toutes les ressources, ni à tous les problèmes globaux.

Pour poursuivre notre réflexion sur le marché comme mode de gestion, il nous faut dépasser la conception hardinienne du marché vu sous le prisme des droits de propriété, pour envisager le marché plus largement comme « *a social arena where sellers and buyers meet* » (Fligstein, 2001, p. 37). C'est l'objet de ce chapitre, qui débute par une exploration théorique du marché comme un mode de gestion (1). Il se poursuit par une mise en perspective de la possibilité d'un marché autour des débris spatiaux (2). Les stratégies des acteurs pour faire émerger ce marché sont ensuite analysées (3). Enfin, nous observons les dynamiques entre les catégories de marché, qui jouent un rôle dans la création de valeur autour du nettoyage orbital (4).

1. Approche théorique du marché comme mode de gestion

La première section de ce chapitre consiste en une mise en perspective théorique du marché comme un mode de gestion des problèmes globaux. On commence par rappeler les liens étroits qui unissent le marché et les problèmes d'action collective, qu'ils peuvent contribuer à créer ou participer à résoudre (1.1). Néanmoins, le processus d'émergence de ces marchés, ou *market fashioning*, fait peu souvent l'objet d'études empiriques, qu'il soit envisagé comme un processus d'émergence spontané, comme un processus organisationnel (1.2) ou comme le résultat de jeux de pouvoir ou comme la création de nouvelles catégories ou systèmes conceptuels (1.3).

1.1. Le lien entre marché et problèmes d'action collective

La littérature souligne les liens qui existent entre le marché et la gestion de problèmes environnementaux et sociaux, et plus largement avec l'action collective. Christian Frankel et ses collègues estiment que la formation de ce lien remonte aux années 1930 : « *The economic thinking of the Ordoliberals in Germany, the Chicago School in the United-States, and Austrian economists such as Hayek, represented an important shift in the way social problems are conceived and governed. As these ideas were implemented more widely, the market acquired a new type of function (Dardot & Laval, 2013 ; Mirowsky, 2013). Markets – or some of the features attributed to markets, such as choice, competition and price – started to be purposely introduced as means to solve pressing collective problems or concerns. Markets became instruments of policy in areas such as health care, public transport, education and environmental pollution.* » (Frankel et al., 2019, p. 154). Les marchés sont enchevêtrés aux problématiques sociales et environnementales, non seulement parce qu'ils peuvent les provoquer mais également parce qu'ils peuvent constituer un outil de leur gestion. Dans un ouvrage collectif paru en 2014, Susi Geiger et ses collègues font l'hypothèse suivante : « *There are no markets without concerns* », autrement dit, tous les marchés articulent des dimensions économiques et sociales, tous sont donc des « concerned markets » (Geiger et al. 2014). Le terme anglais « concern » est issu des sciences politiques et s'inspire du « matter of concern » que Bruno Latour oppose au « matter of fact » (Latour 2004). Il est difficile de traduire ce terme (concerné, soucieux, impliqué ?), car il recouvre en anglais trois champs de signification complémentaires. « Concern » désigne ce qui se réfère à quelque chose (*relating*), mais également ce qui affecte ou influence (*affecting*), et enfin ce qui préoccupe (*worrying*). Ce sont les trois facettes des « concerned markets » : « *(i) Concerning as relating: organizing the direct transactions between market actors; (ii) Concerning as affecting: orienting market transaction so as to handle externalities for other actors, which do not take part directly in the market transactions, but nonetheless experience positive or negative consequences of these transactions; and (iii) Concerning as resolving controversies: making markets governable, that is to say, articulating economic and political regulation of markets.* » (Geiger et al., 2014, p. 9).

Le marché du carbone, dans lequel s'échangent des droits d'émission de gaz à effet de serre, a été créé dans l'objectif de gérer un problème environnemental, en l'occurrence la production de CO₂ (Cartel, Aggeri, Caneill 2017; Cartel et al. 2017). C'est donc un « concerned market ».

Mais il apparaît aussi comme un instrument politique de gestion à part entière. Il s’agirait donc d’un « market for collective concern » ou marché d’intérêt collectif, « *markets that have been constructed as policy instruments because policy makers supposedly expected them to offer the best possible solution to a particular collective problem.* » (Frankel et al., 2019, p. 166). Outre le marché des émissions carbone, on trouve des marchés d’intérêts collectifs dans le secteur des énergies vertes, du transport public, de la santé ou du logement (Doganova, Laurent 2019; Ossandón, Ureta 2019). De nombreux marchés environnementaux relèvent de cette catégorie : « *They are governed, and sometimes created from scratch, by political institutions. They aim at addressing problems captured by terms like climate change or sustainable development. They are supposed to achieve policy objectives defined by measures like the decrease in CO2 emissions. Environmental markets are also ‘concerned markets’ (Geiger et al., 2014) in so far as the ‘sustainable’ qualification of the goods that circulate within them is continuously debated. They trigger controversies over the valuation of the goods exchanged, and more broadly over the capacity of markets to realize the policy objectives that they have been entrusted with.* » (Doganova & Laurent, 2019, p. 222).

Faire émerger un marché apparaît comme une manière de gérer les problèmes d’action collective, notamment de nature environnementale (Ntsondé, Aggeri 2021). Dans le cas des débris spatiaux, des initiatives ont déjà été entreprises en ce sens, mais pour l’instant ce marché n’existe pas encore. Il se situe dans une phase intermédiaire, émergente, caractérisée par l’incertitude. Or la littérature sur les *concerned markets* ou les marchés d’intérêt collectif décrit des marchés déjà établis : « *The papers in this issue offer careful empirical descriptions of what happens after the implementation of markets for collective concerns.* » (Frankel et al., 2019, p. 154). Plus généralement, les « market studies » traitent peu du processus d’émergence des marchés.

1.2. Le processus de *market fashioning*

Pour pallier ce vide théorique, Aspers, Bengtsson et Dobeson (2020) proposent le nouveau concept de *market fashioning*, processus de façonnement des marchés. Ce concept a l’avantage de faire le lien entre plusieurs courants théoriques. En effet, les « market studies » sont issues de disciplines variées, comme l’économie, bien sûr, mais également la sociologie (sociologie des marchés), l’écologie politique, le management, les STS (Science and Technology Studies).

S'y côtoient plusieurs approches théoriques parfois opposées (Fligstein, Dauter 2007), chacune d'entre elles envisageant différemment la question de l'émergence des marchés.

La première de ces approches domine parmi les économistes, pour qui, traditionnellement, le marché renvoie à ce qui se trouve en dehors de l'organisation. Les organisations servent alors à pallier les manquements des marchés, notamment dans des situations de défaillance et apparaissent comme des : « *means of achieving the benefits of collective action in situations in which the price system fails* » (Arrow, 1974, p. 33). Cet antagonisme entre organisation et marché persiste jusqu'à aujourd'hui. Dans cette perspective, les marchés émergent par ajustement mutuel, de manière spontanée, par la coordination de plusieurs acteurs qui s'observent et s'adaptent les uns aux autres (White 1981).

Des travaux plus récents en sciences sociales et en management proposent une autre approche, dans laquelle les marchés ne sont plus pensés en opposition avec les organisations, mais « comme » des organisations (Ahrne, Aspers, Brunsson 2015). Comme elles, leur structure et leur mode de fonctionnement peuvent varier. Comme elles, ils peuvent être plus ou moins bien organisés. Comme elles enfin, ils peuvent comporter des éléments organisationnels : des règles, du « membership », des sanctions, du contrôle, de la hiérarchie. Le marché apparaît comme un processus organisationnel évolutif. C'est dans ce courant que s'inscrivent d'ailleurs les recherches sur les marchés d'intérêts collectifs mentionnées plus haut, envisagés non seulement comme des organisations, mais également dans leur lien avec les organisations qu'ils modifient et avec lesquelles ils se construisent parfois en opposition. Pour les tenants du « market organizing », l'émergence des marchés n'est plus le fruit d'un ajustement mutuel, mais d'une action collective volontaire et intentionnelle (Ahrne, Aspers, Brunsson 2015).

Les marchés peuvent également être conçus comme des arènes politiques. C'est l'approche des « markets as politics », selon l'expression de Fligstein (2001). L'émergence est alors vue comme étant structurée par des luttes de pouvoir qui traversent les champs institutionnels (Bourdieu, 2005 ; Fligstein, 2001). Elle reflète les jeux de pouvoir entre les acteurs : « *If mutual adjustment approaches focus on actors' interest and how their actions unintentionally fashion markets, and organizational approaches zoom in on the decisions that actively fashion markets, the ideal type of fields, reflected in the works of Bourdieu and Fligstein, presumes that the context and conditions of market fashioning should be at the center of our analysis. Thereby attention is directed towards social conditions, the positions of actors and organizations and their power and interests that enable and restrict the decisions of individuals of all types, including attempts to organize markets.* » (Aspers et al., 2020, p. 426).

1.3. Les catégories de marché

Il existe dans la littérature une autre manière d'envisager l'émergence d'un marché, qui n'est pas intégrée dans la réflexion sur le *market fashioning*. Il s'agit de l'approche par les catégories : « *the view of markets as new categories suggests that markets are essentially representations of an economic space being recognized as distinct by relevant audiences (Kennedy, 2008; Porac et al., 1989). In this view, markets emerge as a process of legitimation, involving identity formation and categorization mechanisms that are highly influenced by public statements and media coverage (Kennedy, 2008; Navis and Glynn, 2010).* » (Ozcan & Santos, 2015, pp. 1486-1487). L'émergence d'un marché se traduit ici par l'émergence d'un nouveau système conceptuel, créé et partagé par certains groupes d'acteurs : « *A new market category exists when two or more products or services are perceived to be of the same type or close substitutes for each other in satisfying market demand; the organizations producing or supplying these related products or services are grouped together as members of the same market category. (...) Market categories, like all categories, have two basic properties: (1) constituent members, whose inclusion is defined by rules or boundaries pertaining to a common type of product or service, and (2) a concept, label, or identity that reflects the commonalities that link together the members of the category (Mervis and Rosch, 1981).* » (Navis & Glynn, 2010, p. 3). Comment émergent ces catégories ? Dans une étude sur le processus d'émergence du marché des radios satellites, Navis & Glynn (2010) décrivent la succession d'une alliance entre concurrents, qui unissent leurs efforts pour imposer le moment de l'émergence et l'ancrage d'une nouvelle catégorie, avant de revendiquer leurs identités propres et de chercher à se distinguer les uns des autres. Ce phénomène évoque la métaphore du gâteau de Brandenburger & Nalebuff (1995) qui renvoie au concept de coopération : les acteurs coopèrent pour fabriquer le plus gros gâteau possible, avant d'entrer en concurrence pour s'en approprier la plus grosse part. Pour Granqvist et al. (2013), les catégories émergent au cours d'un processus de labellisation. Les chercheurs se sont également intéressés aux dynamiques internes des catégories de marché. Lee et al. (2017) ont par exemple étudié la « nature à double-tranchant » de la quête de légitimité, qui constitue un élément essentiel de l'émergence de nouvelles catégories, mais qui peut aussi avoir des effets négatifs. De même, la recherche de consensus au sein des catégories entraîne un élargissement de leurs frontières, ce qui peut être nuisible pour la cohérence du projet (Hiatt, Carlos 2019).

L'article de Aspers et al. (2020) identifie trois idéaux-types de l'émergence des marchés (ajustement mutuel, organisation, champs), auquel on peut ajouter l'approche par la création de nouvelles catégories de marché. Cependant, la réflexion sur le *market fashioning* n'est pas suivie d'un prolongement empirique. La question est davantage traitée dans la littérature sur les catégories de marchés, mais les études se concentrent le plus souvent sur l'évolution et l'émergence d'une seule catégorie, sans prendre en compte les possibles interactions entre plusieurs catégories naissantes.

Comment se traduit le processus de *market fashioning* dans le cas empirique du marché émergent des débris spatiaux, un marché d'intérêt collectif à l'échelle globale qui combinerait plusieurs catégories de marchés ? Nous essayons d'apporter des éléments de réponse à cette question à travers une analyse empirique de l'émergence d'un potentiel marché des débris spatiaux.

2. La possibilité d'un marché des débris spatiaux : obstacles et incertitudes

Imaginer un marché des débris spatiaux peut sembler paradoxal, car cela implique d'attribuer une valeur à ce qui n'en a pas : un déchet. Il existe des situations dans lesquelles cette opération semble possible (Micheaux 2019). Dans le cas de la pollution plastique, on peut récupérer le déchet, le reconditionner, le revendre, et donc réussir à le valoriser. Cependant, un tel scénario semble relativement improbable dans le cas des débris spatiaux, étant donné les caractéristiques physiques de l'espace extra-atmosphérique et la nature dégradée des débris récupérés. Où se trouve leur valeur ? Elle apparaît de manière négative, car elle repose avant tout dans la gestion du risque que font courir les débris aux satellites actifs en orbite. La valeur des débris repose donc toute entière dans leur potentiel destructeur. Ainsi, peuvent faire l'objet d'une commercialisation l'ensemble des services et des technologies qui permettent d'empêcher les collisions ou la formation de débris (2.1). Cependant, l'émergence du marché des débris semble conditionnée à l'équilibre du rapport bénéfique / risque (2.2), ainsi qu'au succès (ou à l'échec !) des projets de méga-constellations (2.3).

2.1. La valorisation des débris spatiaux ?

Prenons l'exemple simple d'un satellite en orbite. En présence de débris sur sa trajectoire, et en admettant qu'il en ait les capacités, il lui faudra manœuvrer pour éviter les collisions. Pour cela, son opérateur aura besoin de données suffisamment précises pour déterminer quand et comment effectuer une manœuvre. Actuellement, les données sont principalement collectées et analysées par des agences spatiales, et plus particulièrement par la NASA qui dispose du catalogue le plus complet dont elle offre gratuitement la consultation. Mais la collecte et le traitement de ces données commencent à intéresser certaines entreprises, qui espèrent offrir à leurs clients un service de gestion avec un système d'alerte indiquant les manœuvres à effectuer. Revenons à notre satellite. Même s'il réussit à éviter les débris, il peut tomber en panne, avoir besoin d'être déplacé, réparé, rechargé pour éviter de se transformer lui-même en débris. Ce besoin engendre le développement de services en orbite, ou *On-orbit Servicing*, qui constituent d'ores et déjà un marché sur les orbites géostationnaires et qui pourraient également intéresser les opérateurs de méga-constellations, devant entretenir leur flotte au fur et à mesure des éventuels accidents ou pannes. Notre satellite arrive à présent en fin de vie et, toujours pour lui éviter de se transformer en débris, il faut lui permettre de quitter son orbite. Pour cela, il faut qu'il soit équipé de manière adéquate, par exemple d'un moteur adapté ou de voiles solaires. Les opérateurs qui sont sur le point de déployer de nouveaux satellites en orbite pourraient être prêts à financer de telles solutions. Enfin, si notre satellite a été lancé sans avoir embarqué de technologies lui permettant d'effectuer lui-même sa désorbitation, et qu'il représente un danger important pour l'orbite sur laquelle il se trouve, son opérateur pourrait avoir recours à un service d'Active Debris Removal (ADR), chargeant une entreprise tiers de désorbiter le débris à sa place. Ces missions sont plutôt destinées à des clients étatiques souhaitant se débarrasser d'un ou de plusieurs gros débris encombrants.

Vente de données de positionnement, équipement des satellites en amont du lancement ou services en orbite pour réparer et désorbiter, les bénéfices issus d'un marché des débris spatiaux pourraient être générés selon des stratégies variées. Toutes reposent sur la gestion du risque que ces derniers représentent pour les autres satellites.

2.2. Le rapport bénéfice / risque

Ce risque a la particularité d'être partagé par tous les utilisateurs de l'espace. Un accident en orbite ne concerne pas seulement l'objet qui en est responsable, mais tous ceux présents sur les orbites à proximité. Difficile, donc, de motiver des acteurs à assumer individuellement le coût de sa neutralisation. Personne ne veut payer pour nettoyer un espace qui appartient à tout le monde. Le rapport bénéfice / risque pour l'acteur individuel n'est pas assez important pour qu'il soit prêt à investir. Un expert nous explique :

« Quand on va discuter avec les industriels, ils nous disent 'oui, d'accord, les débris mais aujourd'hui on fait avec, on fait des manœuvres de collisions, on perd un satellite sur 200 c'est gérable et ça ne vaut pas le coup d'investir plus pour gérer cette problématique-là'. » [Expert agence]

Réaliser une manœuvre en orbite coûte beaucoup moins cher que de se lancer dans des missions de maintenance ou de désorbitation, opérations particulièrement coûteuses et risquées. Et quel intérêt y aurait-il à payer une mission de désorbitation si son prix est plus élevé que le lancement du satellite lui-même ? Une anecdote circule à ce sujet, révélant l'état d'esprit des opérateurs :

« Le PDG d'[une constellation de satellites en orbite basse] a expliqué qu'il était prêt à payer un service de désorbitation, mais pour 10.000 dollars. C'est une provocation pour montrer que personne n'est prêt aujourd'hui à mettre le prix réel d'une désorbitation. » [Expert industrie]

À titre de comparaison, un expert d'agence que nous avons rencontré estime la désorbitation d'un gros débris à « 10 millions pièce. » D'autre part, le calcul coût / bénéfice n'est pas réalisé uniquement à un instant t , mais dans une temporalité plus longue. Les acteurs disent être face à des conflits entre le court et le long terme :

« Aujourd'hui, [les industriels] sont pragmatiques. Ils ont des missions à faire, des échéances, des satellites à livrer avec des coûts et des délais à respecter. Un chef de projet dira que dans 25 ans il y aura des gens plus intelligents qui régleront le problème. On se focalise plutôt sur des problématiques court terme que long terme. Faire des

missions plus chères parce qu'il faut implémenter un certain nombre de règles pour pouvoir avoir des retombées de ces règles dans vingt ans, cela n'intéresse pas forcément un chef de projet actuel. Sauf si le chef de projet est convaincu du bien-fondé de la chose. Convaincu, ils le sont souvent mais ils sont pris en étau entre l'économie et la rapidité. Ca, c'est quelque chose qu'on rencontre souvent et qui est une vraie difficulté. » [Expert agence]

Au-delà du calcul purement financier, les réticences à investir proviennent aussi de la difficulté à estimer le risque. Plusieurs de nos interlocuteurs ont souligné l'importance de la réalisation d'études fiables, pour trouver les « bons chiffres » et réussir à convaincre des coûts à venir :

« Ce qui manque aujourd'hui pour motiver tout le monde, c'est d'avoir les bons chiffres, des chiffres qui veulent dire quelque chose, qui puissent aider à prendre des décisions claires. Aujourd'hui, on n'a pas encore réussi à trouver ces bons chiffres. » [Expert agence]

Parmi les différentes solutions envisagées se trouve la mise en place d'une taxe, sanctionnant les producteurs de débris, et qui permettrait de financer des opérations de nettoyage de l'espace à travers des appels à projets. Cette méthode apparaît comme un des principaux outils de gestion du réchauffement climatique, et c'est à travers cette analogie que son application a été envisagée dans le cas des débris (Buchs, 2020 ; Macauley, 2015). Seulement, la transposition de ce dispositif dans le contexte du secteur spatial rencontre plusieurs obstacles : *« The downside with taxes is a relatively heavy administrative burden, in particular in a system with many exemptions and case-by-case considerations. Also, the application of taxes is in some cases considered detrimental to competitiveness, which is why energy-intensive industries benefit from tax exemptions in many OECD countries (OECD, 2018[53]). In the space sector, such competitiveness concerns would not only be related to competitions between countries, but also competition with terrestrial industries. »* (Undseth et al., 2020, p. 39). Au cours de nos entretiens, la possibilité d'établir une taxe n'a que rarement été évoquée, et le cas échéant, écartée :

« Tout le monde est d'accord pour repérer les objets qui restent trop longtemps, mais il faut une police. On peut calculer le temps que l'on reste en orbite, donc si on reste 30

ans on doit tant à la communauté. C'est toujours théorique car il faudrait inventer un rôle de police. Et celui qui va taxer Elon Musk n'est pas né ! Cela n'existe pas dans les textes. » [Expert agence]

La difficulté réside tant dans l'élaboration d'une méthode de calcul que dans les modalités de contrôle d'une taxe, dont la mise en place soulèverait plusieurs questions épineuses : faut-il taxer les propriétaires des débris existants ? ; comment être équitable avec les pays qui sont en train de développer leurs capacités spatiales par rapport aux États plus avancés ? ; etc.

2.3. La contradiction des méga-constellations

Ajoutons que tout marché du nettoyage porte en lui-même une contradiction : pour qu'il se maintienne et prospère, il faut continuer à produire des débris, donc à polluer. Ce phénomène est particulièrement visible dans le problème des filières de recyclage du plastique, qui ne peuvent être maintenues qu'à condition qu'elles soient suffisamment alimentées. Dans le cas des débris, on retrouve ce paradoxe dans l'avènement des méga-constellations. Pour la plupart encore à l'état de projets, ces immenses flottes de satellites constituent, selon les acteurs que nous avons rencontrés, une évolution majeure de l'activité spatiale. Elles sont d'abord perçues comme une nouvelle menace, peut-être la plus importante de ces dernières années en ce qui concerne les débris.

« SpaceX ? Eux prévoient 40 000 objets, là c'est un changement de paradigme. Ça ne peut être que grave. » [Ingénieur, firme]

En effet, le lancement d'un tel nombre de satellites sur des orbites basses et déjà encombrées ne semble pouvoir mener qu'à une augmentation significative du risque d'accidents, et donc du nombre de débris présents en orbite, rendant ainsi encore plus réelle la menace de collisions en chaîne (Boley, Byers 2021). Ce changement de paradigme concerne également le potentiel marché des débris spatiaux. Les opérateurs de ces méga-constellations sont conscients du taux d'échec associé à leurs projets. Ils pourraient donc avoir intérêt à entretenir leur flotte, si ce n'est à désorbiter certains débris :

« C'est la constellation qui a tout changé : le business case vient du fait qu'ils lancent beaucoup et qu'ils doivent protéger leur propre orbite, dans leur propre intérêt. »

[Expert, agence]

Suivant cette logique, la validation d'un business model des débris spatiaux dépendrait du taux d'échec comptabilisé dans ces méga-constellations. Dans l'hypothèse où les méga-constellations ne connaîtraient pas d'échecs, il ne serait pas nécessaire d'avoir recours à des services d'entretiens ou de nettoyage :

« OneWeb et Starlink annoncent des taux de réussite très élevés. Si c'est le cas, il n'y aura pas de marché. S'il y a des problèmes, peut-être qu'un marché apparaîtra. »

[Commercial, firme]

Augmenter la fiabilité des satellites et la sécurité des orbites reviendrait donc à empêcher l'émergence d'un marché. Or, faire reposer l'émergence du marché des débris spatiaux sur la réussite – ou plutôt l'échec – des méga-constellations semble problématique pour deux raisons. Premièrement, le succès de ces grands ensembles semble être sujet à de profondes incertitudes. Certains acteurs questionnent notamment leur modèle économique global, ainsi que la capacité des firmes à atteindre leurs objectifs en termes de lancements :

« C'est la mode en ce moment. Aujourd'hui je suis très prudent. À la fin des années 1990, on a eu le même effet de mode. On avait 10 ou 15 projets de constellations comme ça. Sur les 10 ou 15, il n'y en a que 3 qui ont réellement été lancées dans leur intégralité et elles sont toutes passées par une procédure de faillite. Aujourd'hui j'ai arrêté de compter le nombre de projets de méga-constellations (Elon Musk, Jeff Bezos, OneWeb...). J'attends de voir la viabilité commerciale de tout ça. » [Expert, assurance]

Deuxièmement, envisager les méga-constellations comme une voie de solution du problème semble profondément paradoxal car elles constituent des éléments aggravants de l'augmentation du nombre de collisions en orbite. Pourtant, la commercialisation de solutions qui permettraient de limiter le nombre de collisions et de débris dangereux repose sur le succès de ces même méga-constellations, comme le résume Tkatchova : *« with the increased growth*

of space debris, the opportunity for private companies to develop and offer space debris removal and prevention services will grow. » (Tkatchova, 2018, p. 98).

Le potentiel marché des débris spatiaux fait face à plusieurs obstacles. D’abord, la valeur des débris repose essentiellement sur le risque que ceux-ci font courir aux autres satellites, risque partagé par l’ensemble des utilisateurs de l’espace, ce qui diminue la motivation des acteurs à investir dans des solutions de nettoyage. Personne n’est prêt à payer. Par ailleurs, si le risque devenait suffisamment important, du fait par exemple des méga-constellations, et que le marché finissait par apparaître, il serait appuyé sur la production de débris.

Malgré ces obstacles, on commence à voir apparaître des propositions de business models, ce qui laisse à penser que le marché des débris est en cours de façonnement. Selon quelles stratégies les acteurs organisent-ils son émergence ?

3. Les stratégies du *market fashioning*

Selon l’approche organisationnelle des marchés, ces derniers émergent grâce à l’action volontaire et intentionnelle de certains acteurs, que Ahrne et al. (2015) appellent des « organizers », ou organisateurs. Ces derniers peuvent appartenir à plusieurs catégories. Ils peuvent être acheteurs ou vendeurs, mais aussi « profiteurs », comme les plateformes digitales qui assurent la mise en relation entre acheteurs et vendeurs (Kirchner, Schüßler 2019). Certains organisateurs n’ont pas d’intérêt financier direct dans le marché mais participent à son organisation, comme les organismes internationaux ou parfois les États, alors appelés « others », les autres : « *They have little or no interest in making profit, and they try to help sellers, buyers or whoever is affected by what sellers or buyers do. They are a kind of others, in the sense that Meyer (1996) has given this term, originally coined by G. H. Mead (1964). These others may come from the group that they claim to represent, or they may act on behalf of the group without sharing its predicament. They are directly involved in market organization or they offer views and advice on how other people and organizations should act as organizers.* » (Ahrne et al., 2015, pp. 9-10). Commençons par appliquer cette typologie au cas du marché potentiel des débris spatiaux, afin de cartographier les acteurs et d’identifier leurs rôles potentiels respectifs.

| Type d'organisateur | Application dans le cas des débris spatiaux |
|------------------------------|--|
| Acheteurs et vendeurs | <u>Acheteurs</u> : Opérateurs (e.g. One Web) / Agences spatiales, États (e.g. ESA, JAXA) |
| | <u>Vendeurs</u> : Startups / Constructeurs |
| Profiteurs | Startups (e.g. Astroscale) Constructeurs (e.g. Airbus, Thalès, Lockheed Martin) Agences spatiales (e.g. ESA, JAXA, NASA) |
| Autres | Agence spatiales (e.g. ESA, JAXA, NASA) Non-profit associations (e.g. OCDE, Secure World Foundation, WEF, Space Safety Coalition) |

Tableau 9 Typologie de Ahrne et al. (2015) appliquée au cas des débris spatiaux

Plusieurs limites apparaissent. Premièrement, cette typologie a été pensée pour décrire l'organisation de places de marchés (*marketplaces*), dans lesquelles les rôles entre acheteurs, vendeurs et profiteurs ne se recoupent pas. Cependant, le cas des débris spatiaux ne présente pas une situation de *marketplace* mais d'un marché de producteurs, ce qui entraîne un recoupement des catégories. Les acheteurs et les vendeurs peuvent être aussi des organisateurs. De plus, la notion d'intérêt économique, censée distinguer la catégorie des profiteurs de celle des « autres », semble difficile à définir. Les agences spatiales, par exemple, sont-elles dénuées d'intérêt économique ? A priori, oui, puisqu'elles sont chargées de la Recherche et du Développement des activités spatiales et qu'elles représentent les États. Mais elles ont également pour objectif de développer les intérêts économiques de leurs industries nationales et les projets qu'elles développent doivent justifier d'une forme de rentabilité. Un expert d'agence spatiale explique l'importance du business case dans l'attribution des budgets à travers une anecdote :

« Il y a quelques années, on a voulu désorbiter Envisat [un satellite d'observation de l'ESA lancé en 2002]. Pour des raisons de responsabilité de lancement, c'était plus facile de désorbiter un satellite nous appartenant, et le plus gros de préférence. On a commencé à designer une mission. Dans les différents services de l'ESA, on a trouvé de l'argent pour faire des études, phase A, phase B1. (...) On a dépensé 5-10 millions. À la fin, il fallait passer à la phase plus importante, à 350 millions. (...) Tout le monde voulait travailler sur ça. C'était véritablement, un bijou pour une agence européenne

de recherche, une mission très difficile que personne n'avait faite. Je pensais qu'on pouvait obtenir les fonds. Eh bien, non. On n'a pas eu l'argent. La réponse était : « what is the business case ? » On a essayé d'argumenter : est-on capable de manipuler des objets dans l'espace, de faire de l'in-orbit servicing ? On a vendu le « competitive advantage » pour l'Europe. Ça n'a pas marché. » [Expert, agence]

| Acteurs | Ressources | Contraintes | Positionnement |
|--|---|--|---------------------------------|
| Constructeurs historiques | Ressources financières, ressources R&D et expertise, légitimité | Enjeu de compétitivité et de ROI | Vendeurs et potentiels vendeurs |
| Startups spécialisées | Flexibilité et R&D | Peu de ressources, peu de légitimité, technologies peu mûres | Vendeurs |
| Opérateurs de méga-constellations | Ressources financières, impact sur l'environnement spatial | Incertitude sur le succès de la méga-constellation, risque important d'accidents, réputation, soumis à l'obtention d'autorisation de lancement | Clients et potentiels clients |
| Agences spatiales / États | Légitimité, pouvoir de régulation, éventuels moyens financiers | Compétitivité nationale | Clients et potentiels clients |

Tableau 10 Positionnement stratégique des différents acteurs

Les agences spatiales ne sont pas détachées des considérations d'ordre économique et les projets qu'elles poursuivent doivent justifier d'un modèle économique suffisamment robuste pour être validé. Les agences représentent à la fois les intérêts d'autres acteurs et les leurs. Deuxièmement, cette typologie ne permet pas de montrer le degré d'implication des organisateurs au sein d'un même groupe. En analysant le cas, nous nous sommes aperçus que

certaines acteurs étaient beaucoup plus investis que d'autres dans l'organisation du marché. Prenons les startups. Certaines, comme la startup italienne D-orbit, proposent un service en orbite pour agir sur les débris spatiaux mais ne participent pas au processus de régulation car elles n'en ont ni les moyens ni la légitimité. La startup Astroscale, quant à elle, non seulement développe et commercialise des services en orbite mais joue aussi un rôle central dans l'institutionnalisation du problème. Les acteurs d'un même groupe semblent donc pouvoir adopter des stratégies différentes.

À partir de ces remarques, nous proposons une nouvelle typologie d'organiseurs appuyée sur la stratégie des acteurs dans l'organisation du marché, et plus particulièrement sur leur degré d'implication. On distingue les activistes, qui affichent la création de marché comme faisant partie de leur stratégie (3.1), les participants, qui prennent part à l'organisation du marché sans en faire un élément central de leur stratégie (3.2), et les attentistes, qui attendent la consolidation du marché avant de participer (3.3). On retrouve dans chacun de ces groupes aussi bien des acteurs publics que des acteurs privés, des organisations internationales que des associations à but non-lucratif.

| | (a) Activistes | (b) Participants | (c) Attentistes |
|-------------------|---|---|---|
| Définition | Organisent activement la création de marché en la présentant comme un de leurs objectifs stratégiques | Participent comme acteurs du marché, sans en être organisateurs actifs | Attendent la mise en place du marché avant de participer ou de l'intégrer dans leurs objectifs stratégiques |
| Stratégie | Politiques R&D, lobbying, entrepreneuriat institutionnel, innovation institutionnelle | Participation comme client bêta, investissement dans des projets du marché, soutien réglementaire | Développement de projets internes, veille attentive et suivi des informations, participation distante au marché |

Tableau 11 Proposition d'une typologie des organisateurs du marché des débris spatiaux

3.1. Les activistes

Notre enquête empirique a permis de distinguer certains acteurs qui semblaient jouer un rôle prépondérant dans le processus de façonnement du marché. Ce type d'organismes a en commun d'avoir placé la création d'un nouveau marché parmi leurs principaux objectifs stratégiques. Ils peuvent appartenir à différentes catégories d'acteurs.

Commençons par les acteurs publics. Il faut avant tout rappeler que les agences et les gouvernements jouent un rôle prépondérant dans le problème des débris spatiaux, et par conséquent dans l'établissement d'un marché sur lequel ils peuvent se positionner aussi bien comme potentiels acheteurs que comme potentiels vendeurs. En grande partie responsables de la présence des débris les plus dangereux en orbite, les agences et les gouvernements des grands pays spatiaux sont les premiers clients d'un marché du nettoyage et de la désorbitation. Ils peuvent se porter acquéreurs de technologies permettant d'équiper les satellites en amont du lancement ou être intéressés par des offres de prestation en orbite pour agir sur des satellites. Par ailleurs, ils disposent souvent de moyens de surveillance de l'espace et donc de données de positionnement, qu'ils peuvent fournir gratuitement à d'autres opérateurs, privés mais également publics, voire essayer de commercialiser. Étant donné la faible *willingness to pay* des acteurs décrite plus haut, les États, et en leur nom les agences spatiales, doivent jouer un rôle central dans le financement et l'organisation de ce marché, comme nous l'affirme un membre d'une fondation internationale :

« The market will be created by governments, with the help of incentives, like for carbon. They will create a price or a cost. It's a negative externality. Until the government find a way to make those cost applicable to people, it's very difficult. » [Expert organisation non-gouvernementale à but non-lucratif]

Quels acteurs publics tentent de s'acquitter de cette tâche, et comment s'y prennent-ils ? Au cours de notre enquête, nous avons distingué deux agences spatiales qui se positionnent comme des pionnières en termes de lutte contre les débris, et qui tentent activement de créer un nouveau marché du nettoyage. Il s'agit de l'ESA et de la JAXA, les agences spatiales européenne et japonaise.

Le programme Cleanspace de l'ESA est consacré au développement de solutions techniques au problème des débris spatiaux. En 2019, l'agence européenne lance, dans le cadre de ce

programme, un appel à propositions pour développer une nouvelle solution d'Active Debris Removal. À la différence d'un partenariat classique, le financement se développe progressivement lors des seuils de performance clés. L'agence spatiale cherche à stimuler la création d'un nouveau marché autour du nettoyage des débris spatiaux. C'est la startup suisse Clearspace, spin-off de l'École polytechnique Fédérale de Lausanne, entourée d'un consortium d'entreprises privés, qui remporte l'appel. L'ESA alloue 70 millions d'euros pour les trois premières années, complétés par des fonds levés par la startup. Un membre de Clearspace explique :

« C'est un peu spécial, parce que ce n'est pas un procurement, c'est un contrat de service. La délégation suisse a mis un montant très exceptionnel¹⁵. Il y a des key performance gates qui sont là pour vérifier à chaque étape de la mission que tout est en ordre. Ce sont des échéances avec des listes de requirements. L'objet doit être enlevé fin 2025. Un premier financement s'est fait en 2019. Au final, il y a eu plus d'argent que ce que Clearspace attendait. On décidera si les États continuent à financer et même mettent plus. Le but de l'ESA est de créer un service commercial qui tourne, et que l'ESA n'ait plus à financer ensuite. Donc Clearspace aura la propriété intellectuelle. »
[Employé startup]

Dans ce projet, le rôle de l'ESA est complètement redéfini. L'agence se positionne en tant que créatrice de marché, avec une vision long terme, qui contraste avec ses objectifs initiaux, comme l'explique un de ses experts :

« Historiquement, l'agence passe des marchés publics, on donne les requirements techniques à respecter par les contractants, avec des milestones dans le projet, etc. C'est une approche traditionnelle. Là, on est passé à quelque chose de totalement différent. (...) Nous nous sommes placés dans la position d'un client qui a un problème et qui demande un service : nous avons un débris, en l'occurrence un étage de Vega, et nous voulons le traiter. Nous avons fait un appel d'offres. [...] On a demandé un business case pour un autre client éventuel, une projection de marché. On a sélectionné,

¹⁵ Les projets de l'ESA sont financés par les contributions de ses États membres. Le choix des partenaires industriels est établi en fonction des contributions respectives des États. Dans le cas de Clearspace, la délégation suisse a été obligée de contribuer financièrement de manière substantielle pour que le partenaire principal de l'opération soit une startup suisse.

pour une mission très coûteuse, une startup suisse de 6 ou 7 personnes. Pas Airbus ou Thalès. Sur le plan de la politique industrielle, c'est totalement nouveau. Nous sommes là pour aider une nouvelle génération d'entrepreneurs à ouvrir un nouveau marché. Et en tant que client, nous avons fixé des requirements très élevés. C'est un changement majeur. » [Expert agence]

Un projet à la structure similaire est développé au sein de l'agence spatiale japonaise depuis 2020. Le processus est le même : la JAXA se place en position de client et lance un appel à projets pour la désorbitation d'un gros débris, en l'occurrence le second étage du lanceur japonais H IIA qui pèse plus de 20 tonnes. Un membre de la JAXA souligne la particularité de ce projet, par rapport au fonctionnement traditionnel de l'agence :

« The CRD2 project is the biggest challenge in our directorate. It could change everything. It is quite different from other projects [...] JAXA is a Research and Development Organization so I think its contribution is limited. We need to support the private sector through the joint partnership program, the PPP (public and private partnership). It provides the opportunity of demonstration in orbit. The other goal is to promote a national project aiming at debris removal including industrial promotion. It is not popular currently worldwide. JAXA is trying to open new activities around active debris removal. This one is very international, contrary to the first project, very national. The idea is that the mitigation and removal of new debris will be done by private sector, and that the removal of existing debris will be done by public sector. They generated it. We created the CRD2 program to organize this collaboration. »
[Expert agence]

L'ESA comme la JAXA adoptent donc une stratégie similaire. Elles souhaitent donner la possibilité à une jeune entreprise de devenir leader sur le marché de niche que pourrait représenter la désorbitation de débris en finançant le premier projet qui fait office de démonstration. Ce changement de stratégie dans la définition des rôles de l'agence spatiale, inspiré des pratiques du NewSpace aux États-Unis, a notamment été étudié par Mariana Mazzucato & Douglas K.R Robinson (2018; 2019) qui le décrivent comme un renouvellement dans les systèmes d'innovation et dans les formes de relations entre les acteurs privés et les agences.

Astroscale, la startup japonaise choisie par la JAXA pour réaliser son programme de désorbitation, peut être considérée comme un autre organisateur activiste à part entière. Elle représente aujourd’hui la première entreprise privée spécialisée sur les débris. Son fondateur Nobu Okada est un des premiers à avoir eu l’intuition qu’il était possible d’accorder aux débris spatiaux une valeur économique. Un des membres de son équipe raconte :

« [Astroscale] was founded by a single guy who had a kind of epiphany or dream, or vision. Space debris was a problem that needed to be addressed, and he thought he could address it with a startup and founded the company. When he started, there was just him and that was in 2013. There were a lot of talks about it at an academic and institutional level but no one talked about it as a business. » [Employé startup]

Astroscale fait aujourd’hui figure de pionnière et se distingue des autres startups spécialisées dans ce marché émergent. Son objectif dépasse le succès de sa propre structure :

« One of our main goals is market creation. The market is not apparent and it takes a lot to convince governments and potential customers that this could be viable. We don’t expect to be the only players of the game. We expect that the more we talk about it the more we help to create a business case and a policy environment and the more we are going to see a lot more people joining. » [Employé startup]

Concrètement, que met en place Astroscale pour organiser le marché des débris spatiaux ? D’abord, elle a pénétré la plupart des forums de régulation. Si elle n’est pas un membre observateur officiel du COPUOS, elle y a fait des présentations à plusieurs reprises (2019¹⁶, 2021¹⁷) et bien qu’elle ne soit pas non plus un membre officiel de l’IADC, sa présence en arrière-plan lors de la réunion annuelle en 2018 a été remarquée. C’est aussi un acteur de premier plan dans les coalitions privées, comme la Space Safety Coalition ou CONFERS. Son implantation internationale lui permet également de s’exprimer au sujet de certaines régulations nationales, comme cela a été le cas aux USA en 2020, lorsque la FCC a demandé aux entreprises américaines de leur fournir leurs commentaires sur une nouvelle régulation portant sur les débris spatiaux. Cette implication dans la production de règle n’est pas un comportement

¹⁶ <https://www.unoosa.org/documents/pdf/copuos/2019/copuos2019tech02E.pdf>

¹⁷ <https://www.unoosa.org/documents/pdf/copuos/stsc/2021/tech-41E.pdf>

courant parmi les startups comme le montre un de nos interlocuteurs qui établit une comparaison avec la startup suisse Clearspace :

« *Clearspace n'est pas impliquée dans les négociations internationales. L'équipe était toute petite et était focalisée sur quelle mission et quel service sont possibles, ensuite elle s'est focalisée sur l'appel d'offres de l'ESA. Astroscale a levé des fonds, a pu discuter, par exemple avec la FCC, ce que Clearspace aurait peut-être dû faire, mais n'a pas pu faire parce qu'elle était trop petite et n'avait pas les ressources.* » [Employé startup]

Au-delà des forums de régulation, Astroscale s'est aussi implantée dans le paysage scientifique et dans les groupes d'experts. Elle est présente lors des grandes conférences internationales, comme l'International Astronautical Congress (IAC), ou la European Space Debris Conference. Son fondateur Nobu Okada a intégré la communauté spatiale à travers plusieurs organisations scientifiques. Il est aujourd'hui un membre actif du Space Forum du World Economic Forum, mais également de la Royal Aeronautical Society, et il a été élu en octobre 2020 vice-président de la prestigieuse Fédération Internationale d'Astronautique (IAF). Ses représentants animent des panels dans des conférences internationales, produisent des articles de recherche sur l'émergence du marché (Brettle et al. 2019; Forshaw et al. 2020; Weeden et al. 2019). Cette entreprise se distingue à la fois des autres vendeurs et des autres startups par le rôle qu'elle cherche à jouer dans l'organisation du marché. Elle se situe à mi-chemin entre l'entrepreneur institutionnel (DiMaggio 1998; Maguire, Hardy, Lawrence 2004; Acquier, Aggeri 2008) et l'entrepreneur organisationnel (Scott 2013) (« *Organizational entrepreneurs are people who try to change an existing market within an existing institutional mold, while institutional entrepreneurs have an interest in fashioning a whole new institutional setting.* », Aspers et al., 2020, p. 427).

On peut distinguer un dernier acteur activement impliqué dans l'organisation du marché. Cette fois, il ne s'agit ni d'un acteur public, ni d'un acteur privé, mais d'une organisation internationale, que Arhne et al. rangeraient certainement dans leur catégorie « others », parmi les acteurs qui n'ont pas d'intérêt financier dans le marché qu'il tente de faire émerger. Correspond notamment à cette catégorie le Space Forum du World Economic Forum, « réseau organisé » représentatif d'une organisation partielle (Garsten, Sörbom 2016). S'y est développé un intérêt particulier pour la question des débris spatiaux, qui a mené à la formation d'un groupe

de travail composé de chercheurs du MIT, d'experts d'agences spatiales et d'industriels, chargés de développer un 'Space Sustainability Rating'. Ce label SSR a pour objectif d'évaluer les lancements en fonction de critères environnementaux afin d'encourager les acteurs à adopter un comportement responsable. Il permet notamment de désigner les acteurs les plus vertueux, qui respectent les réglementations internationales sur la production de débris, ou qui embarquent des dispositifs permettant le servicing ou la désorbitation. Indirectement, cet outil oriente les acteurs vers le marché des services qui est en train de se constituer autour des débris spatiaux.

Les organisateurs activistes se distinguent par leur implication dans la création d'un nouveau marché. Issus de catégories d'acteurs variés (ce sont aussi bien des acteurs publics, privés ou à but-non lucratif et non-étatique), ils développent des stratégies différentes pour parvenir à leurs fins : changement organisationnel et modification des méthodes de financement du R&D, stratégie de lobbying et entrepreneuriat institutionnel, création de nouveaux labels (Arjaliès et al. 2013). Leurs objectifs sont multiples. Il s'agit d'être le premier sur un marché de niche, mais également de pouvoir le modeler selon ses propres standards. Pour les acteurs publics, il semble également qu'une des motivations est de lancer la dynamique, quitte à ce que ce soit à perte.

3.2. Les participants

Tous les acteurs impliqués dans le marché ne sont pas des activistes. À cette période de formation incertaine d'un potentiel marché des débris spatiaux, d'autres acteurs se positionnent plutôt comme des participants. Ils prennent part au marché, souvent en tant que vendeur ou acheteur « bêta », sans pour autant placer la création du marché parmi leurs principaux objectifs. Pour illustrer cette catégorie d'acteurs participants, nous avons choisi l'exemple de OneWeb. Cette méga-constellation, dont le projet est lancé en 2014, se positionne sur le secteur de l'Internet spatial. Au moment de sa création, OneWeb ne s'intéresse pas aux débris spatiaux. Il faut attendre plusieurs années et un lobbying intensif d'Astroscale avant que OneWeb décide de se prêter au jeu de l'acheteur pionnier. Un de nos interlocuteurs raconte :

« Ils ne prévoyaient à l'époque aucun coût pour la fin de vie de leur satellite. Or, 10 % de leurs lancements étaient voués à l'échec, ce qui fait beaucoup pour des constellations de milliers de satellites. Après deux ans de lobbying intensif, le fondateur a commencé à dire qu'il était intéressé par cette question. » [Employé startup]

L'entreprise choisit de se démarquer des autres projets en abordant de front la question de l'espace durable et des débris spatiaux. Un « space debris statement » issu du World Economic Forum¹⁸ est publié sur leur site Internet et, concrètement, OneWeb décide d'équiper ses satellites de poignées pour faciliter la désorbitation, à travers un partenariat avec Astroscale :

« Chaque satellite Oneweb dispose d'une poignée, un dispositif mécanique, qui permettra d'être remarqué par un Active Debris Removal. Eux ont monté le taux à 95% et ont équipé leurs satellites. Ils montrent l'exemple. » [Expert, industrie]

L'enjeu de réputation est un levier important de la participation de ces acteurs. Pour OneWeb, participer à ce type de projets pilotes vise aussi à façonner l'image d'une constellation vertueuse se distinguant des « mauvais élèves ».

Les startups spécialisées sur les débris spatiaux sont un autre exemple d'organismes participants. Certaines ont progressivement intégré les débris dans leur argumentaire, en les présentant comme une des applications possibles de leur technologie. Elles ne sont pas des acteurs actifs dans la création d'un marché ou dans la construction d'un système de règles mais utilisent les débris comme une option, parmi d'autres, permettant de justifier l'utilité de la technologie qu'elles développent.

3.3. Les attentistes

Face à l'incertitude que représente un marché en cours de formation, d'autres acteurs préfèrent adopter un comportement attentiste. Ils ne s'opposent pas à l'émergence d'un marché mais préfèrent attendre que les business models soient consolidés avant de décider d'investir. Il s'agit, principalement, d'acteurs privés pour qui, rappelons-le, les débris spatiaux représentent une contrainte réglementaire importante. Les constructeurs et lanceurs de satellites implantés depuis des décennies sur ce marché ont vu la problématique des débris spatiaux émerger puis prendre de l'ampleur, notamment au sein des forums de régulation auxquels ils participent. Toute régulation pourrait en effet avoir un impact sur leur compétitivité. Par ailleurs, ils sont contraints par des exigences de retour sur investissement qui ne leur laissent pas forcément la souplesse de faire des investissements à plus long terme. Cependant, disposant d'une légitimité

¹⁸ https://assets.oneweb.net/s3fs-public/2022-02/WEF_Space_Industry_Debris_Statement_2021.pdf?VersionId=eSGGjuFiBzNejmwMWo22avuc9tqwfhDN

et d'une expertise fortes, ainsi que d'importantes capacités d'innovation, ils sont bien positionnés pour développer des prestations de service en orbite. C'est pourquoi ils se situent souvent dans un entre-deux, attendant de voir si un marché se développe de façon pérenne tout en s'impliquant dans le développement de solutions techniques et de R&D en interne.

Le constructeur de satellites européen Airbus constitue un bon exemple de ce type d'organisateur. L'entreprise fait partie des grosses firmes industrielles du secteur et est implantée depuis les débuts de l'industrie spatiale. Elle est impliquée dans les différents forums de régulation qui traitent, entre autres sujets, de la question des débris spatiaux. La firme est consciente des enjeux liées à ce sujet. Elle développe des projets de R&D en interne sur le servicing, comme un space tug lancé en 2018 et censé opérer non seulement en orbite basse mais aussi en orbite géostationnaire, à la fois sur des activités de réparation, de maintenance et de désorbitation. Airbus participe également à des programmes ambitieux sur les technologies d'Active Debris Removal. Elle est présente dans le consortium d'industriels qui assiste le projet Cleanspace de l'ESA, en tant que fournisseur. Pour autant, la firme n'a pas encore réellement engagé d'action stratégique sur ce marché en formation. Elle attend qu'il soit consolidé. Un de nos interviewés résume :

« C'est un sujet de R&D passionnant pour les équipes mais le business model n'est pas assez clair pour qu'Airbus se lance dans l'activité. » [employé industrie]

La firme adopte une position attentiste – elle ne veut pas s'engager sur le marché tant que sa viabilité n'est pas assurée – mais reste active, préparant ses équipes de R&D, participant en soutien à des missions sur le sujet.

Si l'on change de niveau d'analyse, on perçoit de manière plus précise ce qui se joue au sein de la firme au sujet de l'organisation du marché. En interne, les équipes spécialisées sur les débris spatiaux comptent peu d'individus. Ceux-ci sont également relativement isolés par rapport au reste de l'organisation, qu'ils doivent encore convaincre de la pertinence et de l'importance des initiatives. En revanche, ces personnes sont souvent très proches de la communauté internationale d'experts qui travaillent sur les débris spatiaux, et à laquelle ils considèrent appartenir. Ils se rencontrent notamment au cours de conférences internationales, co-écrivent des articles de recherche, se croisent dans les forums de régulation où ils représentent leur organisation. Ils peuvent être considérés comme des marginaux-sécants, à l'interface entre leur

organisation et la communauté technique et scientifique spécialisée sur les débris spatiaux. Ils assurent également un rôle de coordination en interne :

« Je coordonne au sein [d'un constructeur de satellite] un groupe de travail qui existe depuis 2014-2015. Il rassemble des collègues des différents pays. On avait besoin de coordination pour connaître les réponses internes et pour harmoniser notre position. »

[Expert industrie]

Il est intéressant de distinguer ces deux niveaux d'analyse – organisationnel et individuel – car ils semblent jouer des rôles différents en termes de façonnement du marché des débris spatiaux. Cette thématique y est souvent portée par quelques individus, isolés, qui semblent activistes par rapport au comportement attentiste de la firme dans son ensemble.

On distingue plusieurs stratégies de *market fashioning*. Certains acteurs font le pari du *first mover advantage* et se lancent activement dans la création du marché en déployant des dispositifs divers. D'autres agissent comme des participants, ayant recours au marché en tant que vendeurs ou en tant qu'acheteurs et contribuant de fait à son façonnement, sans en être à l'initiative. Une dernière catégorie rassemble les acteurs attentistes, qui pourraient potentiellement entrer sur le marché mais préfèrent attendre d'avoir la preuve de sa viabilité. Ces acteurs courent le risque de perdre le *first mover advantage*, mais peuvent mieux gérer l'incertitude du succès du marché.

Jusqu'à présent, nous avons étudié le marché en nous concentrant sur les interactions entre différents groupes d'acteurs et sur leurs rôles respectifs dans le *market fashioning*. Nous choisissons à présent de changer de perspective pour nous placer au niveau des catégories de marché .

4. Dynamique des catégories de marché

Le marché des débris spatiaux est composé de trois catégories de marché : le marché de la donnée, le marché de la prévention (équipement et service de maintenance) et le marché du nettoyage. Au sein de ces catégories, on trouve des marchés de produits, des marchés de services et des marchés avec des modèles économiques plus ou moins innovants pour le secteur

spatial. Certains concernent des activités qui se déroulent physiquement dans l'espace (servicing, nettoyage), d'autres se font en amont du lancement ou depuis le sol (positionnement, éco-design) (voir Tableau 12).

Concentrons-nous sur les marchés se déroulant dans l'espace. On distingue deux grandes catégories d'activités : l'On-Orbit Servicing (OOS) et l'Active Debris Removal (ADR). Ces deux types d'activités peuvent être vues à la fois comme appartenant à la même catégorie de marché (4.1) et à la fois comme deux catégories de marché bien distinctes (4.2). Cette ambiguïté semble pouvoir jouer un rôle stratégique dans l'émergence du marché (4.3).

| | Marché de la gestion des collisions | Marché de la prévention | Marché du nettoyage |
|-------------------------------|--|---|---|
| Produit / Service | Données de positionnement, analyse des données et messages d'alerte | Équipement technique pour désorbitation, design des satellites, service de réparation | Service de désorbitation |
| Activité dans l'espace | Space Traffic Management | End-of-Life Management, On-Orbit Servicing | Active Debris Removal |
| Type de marché | Service | Produit, service | Service |
| Client | Utilisateurs de l'espace qui n'ont pas directement accès à ces données | Opérateurs de satellites, notamment de (méga)constellations | États / agences spatiales propriétaires de débris |
| Vendeurs | Startups, opérateurs, agences spatiales | Startups, constructeurs | Startups, agences spatiales |

Tableau 12 Présentation des catégories du potentiel marché des débris spatiaux

4.1. On-Orbit Servicing et Active Debris Removal, deux catégories imbriquées

Dans la littérature scientifique sur le sujet, l'Active Debris Removal apparaît comme un des différents segments de l'On-Orbit Servicing, aux côtés de la maintenance en orbite (*On-Orbit Maintenance*), du remplacement / ravitaillement (*Hardware replacement/refueling*), de

l'assemblage en orbite (*On-Orbit Assembly*) et de la fabrication en orbite (*On-Orbit manufacture*) (voir Easdown & Felicetti, 2020). L'Active Debris Removal est compris comme une sous-catégorie de l'On-Orbit Servicing.

Associer les deux activités en les imbriquant l'une dans l'autre paraît logique sur un plan technologique. Toutes deux requièrent de maîtriser des techniques complexes que sont s'approcher d'un autre objet dans l'espace et s'y accrocher (*Rendez-vous and Proximity Operations*). L'effort d'innovation porte sur la même chose : réussir à capturer le satellite. Pour cette raison, de nombreux projets envisagent de proposer en même temps des services de réparation ou d'entretien et de la désorbitation. C'est le principe des remorqueurs spatiaux, également appelés space tugs, véritables couteaux suisses, conçus pour pouvoir se déplacer d'un satellite à l'autre en effectuant les manœuvres adaptées à chaque situation, réparation, ravitaillement, remplacement, déplacement, désorbitation. Par exemple, l'entreprise américaine Momentus Space développe un véhicule, appelé le Vigoride, capable d'opérer en orbite basse sur tous les segments d'On-Orbit Servicing. Dans l'ensemble, le type de marché semble également similaire : il s'agit d'un marché de service, dans lequel un opérateur (public ou privé) signe un contrat avec une entreprise pour qu'elle entretienne, répare, désorbit son satellite. Enfin, OOS comme ADR, participent du développement d'un nouveau paradigme spatial, dans lequel le contact entre satellites dans l'espace devient possible.

4.2. On-Orbit Servicing et Active Debris Removal, deux catégories distinctes

Cependant, ce qui est vrai sur le plan technologique ne l'est pas forcément sur le plan commercial. Du point de vue du marché, l'OOS et l'ADR appartiennent à deux catégories très distinctes. Premièrement, elles n'ont pas les mêmes clients. Le service en orbite (de réparation et d'entretien) repose principalement sur la participation des opérateurs de constellations, et plus particulièrement de méga-constellations. Si ces acteurs conçoivent la nécessité d'entretenir leurs constellations, ce marché pourra émerger. Bien sûr, on peut imaginer que d'autres acteurs aient également recours à ces services, mais ce sont les opérateurs de méga-constellations qui peuvent faire une véritable différence. L'ADR, au contraire, s'adresse principalement à des gouvernements ou à des agences spatiales. Car ce sont ces acteurs publics qui sont les propriétaires de très gros débris qui pourraient vouloir être désorbités pour augmenter la sécurité dans l'espace. Si, à terme, et du fait de l'évolution de la régulation, on pourrait imaginer que

des acteurs privés aient recours à des services de désorbitation, la naissance de ce marché de niche repose sur la participation d'acteurs étatiques.

Deuxièmement, ces deux activités n'ont pas recours aux mêmes vendeurs. Les vendeurs qui se positionnent sur l'OOS sont à la fois des startups spécialisées (type Astroscale), mais également des constructeurs et des opérateurs de lancement historiques, qui perçoivent l'opportunité de marché (Lockheed Martin avec son MEV, Airbus avec son space tug). En revanche, les constructeurs ne s'intéressent pas aux missions d'ADR, qui ne promettent pas un retour sur investissement suffisant. Les vendeurs sont donc presque exclusivement des startups spécialisées sur la question, qui pensent pouvoir se positionner comme référence sur ce marché de niche.

Troisièmement, les projets relevant de l'OOS et de l'ADR ne sont pas structurés ni financés de la même manière. Les projets OOS semblent donner lieu à des formes assez classiques de partenariats public-privé : une agence commande le développement d'un projet (comme les projets Dragonfly ou OSAM-1 de la NASA ou RSGS SIS Vehicle de la DARPA) ou en est propriétaire (RAVEN de la NASA). Sur l'ADR, en revanche, on observe des structures de financement et de partenariats variés. D'abord, contrairement à ce qu'on aurait pu penser sur un marché à la rentabilité incertaine, l'ADR suscite l'intérêt des entreprises qui développent des technologies (telles que Terminator Tape de Tethers Unlimited ou Dragnet de MMA Designs) en utilisant leurs propres ressources, sans financement externe des acteurs publics. On voit même des partenariats entre acteurs privés, comme le projet de démonstration ELSA-D développé par la société japonaise Astroscale réalisé en partenariat avec Space Surrey Technology Limited, société issue du Space Surrey Center et spécialisée dans la commercialisation de microsattelites. SSTL était responsable de la construction du satellite utilisé comme cible pour la démonstration du service de désorbitation Astroscale. Les partenariats entre acteurs publics et privés se révèlent également particulièrement innovants, à l'image des projets de la JAXA ou de l'ESA, décrits plus haut, qui délèguent la gestion de l'ensemble du projet à une startup dans l'espoir qu'un marché se forme après la démonstration. Sur le plan commercial, en prenant en compte les structures de financement et les formes de partenariats, l'ADR et l'OOS constituent deux catégories de marché bien distinctes. Elles partagent des caractéristiques technologiques communes, qui les font apparaître comme appartenant à une seule et même catégorie sur le plan technique, mais elles diffèrent largement sur le plan organisationnel. Ainsi, les catégories se positionnent différemment l'une par rapport à l'autre en fonction de la manière dont on les observe.

Ce constat est surprenant. Pourquoi les acteurs continuent-ils de présenter les deux catégories de marché imbriquées l'une dans l'autre et relevant de la même dynamique, alors qu'elles diffèrent autant sur le plan commercial ? Quel intérêt ont les acteurs à entretenir cette ambiguïté ? On peut faire l'hypothèse qu'il s'agit d'une manœuvre stratégique des acteurs pour promouvoir l'émergence de ces catégories de marché, et plus particulièrement pour promouvoir l'ADR. Poursuivons l'enquête.

4.3. Articulation stratégique entre deux catégories de marché

Les motivations des acteurs à participer aux deux catégories de marché sont différentes. Dans un cas, il s'agit d'opérateurs privés cherchant à préserver leur propre constellation, et à respecter ou à anticiper des règles et des standards (OOS). On est donc dans le spéculatif. Dans l'autre, il s'agit d'acteurs étatiques, censés investir dans des missions coûteuses dont le bénéfice consiste à réduire le risque en orbite, et donc à être réparti entre tous les utilisateurs de l'espace et non dirigé vers l'auteur de la mission (ADR). Pour que les acteurs participent, il faut donc être soit dans la coercition, soit dans un mécanisme d'identification à un projet d'espace durable. La catégorie de marché ADR appartient donc au groupe des marchés d'intérêts collectifs que décrivent Frankel et al. (2019). Le marché sert non seulement à résoudre un problème social (la prolifération des débris) mais constitue aussi un instrument politique de gestion.

L'émergence de ce marché d'intérêt collectif qu'est l'ADR est particulièrement complexe, notamment empêché par le manque de *willingness to pay* des acteurs. C'est peut-être pour cette raison que les acteurs mobilisent une catégorie de marché adjacente, l'OOS, plus avancée dans le processus de *market fashioning*, afin de pousser et soutenir le développement de l'ADR. Faire passer un marché d'intérêt collectif comme un segment d'un marché classique deviendrait une manière pour les acteurs de contourner le dilemme de l'action collective.

Cette stratégie semble particulièrement bien fonctionner si l'on considère l'effort de régulation. En effet, les règles qui concernent les deux catégories de marchés se recoupent. Réussir à développer des standards sur la capture de satellites et éclaircir le vide juridique entourant les questions de responsabilité lors d'opérations en orbite sur d'autres satellites pourraient considérablement faciliter le développement d'opérations de désorbitation. Par ailleurs, cette stratégie permet également de répondre au besoin de retour sur investissement des acteurs qui financent. On voit très bien le potentiel de l'OOS, beaucoup moins celui de l'ADR : si l'on

réussit à faire passer l'ADR pour une forme d'OOS, il est probable que l'on puisse prouver son efficacité économique.

Le potentiel marché des débris spatiaux comporte plusieurs catégories, parmi lesquelles on distingue notamment l'On-Orbit Servicing et l'Active Debris Removal. Pris sous l'angle technologique, ces deux types d'activités peuvent être envisagés comme relevant d'une même catégorie de marché. Sous un angle organisationnel, en revanche, elles constituent deux catégories de marché différentes. Cette observation enrichit de plusieurs manières la littérature sur les catégories de marché. Elle rappelle d'abord l'intérêt et l'importance de considérer les catégories de marché non pas indépendamment les unes des autres, mais comme des groupes ou des systèmes. Ensuite, elle montre le jeu dynamique qui existe entre les catégories. On voit une catégorie de marché qui essaye de s'associer avec une autre, alors qu'elles ont des caractéristiques distinctes, pour essayer d'émerger. Ce procédé semble particulièrement utile dans la création d'un marché d'intérêt collectif, dans lequel il est particulièrement difficile de faire émerger des modèles économiques solides et de garantir des bénéfices directs aux investisseurs.

Conclusion du Chapitre 4.

La deuxième solution envisagée par Hardin était la privatisation de la ressource. Si ce mode de gestion ne semble pas facilement applicable – ni souhaitable - dans des problèmes globaux, le marché peut néanmoins jouer le rôle d'un outil de gestion à part entière dans des problèmes environnementaux et sociaux. Dans le cas des débris spatiaux, il semble avoir un rôle à jouer bien que son succès soit encore incertain. C'est justement parce qu'il se trouve dans cette phase intermédiaire, faite de réticences et d'hésitations, que ce marché en construction constitue un cas intéressant de *market fashioning*, révélant la diversité des stratégies des acteurs et le jeu dynamique qui peut exister entre les catégories de marché. Cependant, il ne peut pas constituer, du moins pour l'instant, le principal mécanisme de gestion du problème des débris spatiaux. En retournant au point de départ de ce chapitre, nous nous tournons à présent vers la solution proposée par Elinor Ostrom : celle de la gestion par les communs.

Résumé du Chapitre 4.

À ce stade, il n'existe pas encore un marché du nettoyage des débris spatiaux, qui semble difficile à envisager en raison des différents obstacles et incertitudes qui lui sont attachés. En lui-même, le débris spatial n'a pas de valeur économique et aller le chercher est très coûteux. Si sa valeur existe, elle est liée au risque engendré. Néanmoins, on remarque que certains acteurs, à la fois publics et privés, tentent de mettre en œuvre des stratégies pour façonner ce marché potentiel. Certains sont particulièrement actifs, et placent la création de marché comme un de leurs principaux objectifs stratégiques ; d'autres se positionnent comme participants ; d'autres encore adoptent une posture plus attentiste. La catégorisation du marché est un enjeu pour ces acteurs, et elle fluctue au gré de leurs stratégies. La naissance du marché dépendant en partie du développement de la régulation, les stratégies de son développement impliquent le développement des technologies nécessaires, sous financement privé mais surtout public, mais également des actions de sensibilisation au problème.

Chapitre 5 – La gestion par les communs

Les deux chapitres précédents ont pris comme point de départ la théorie de Hardin sur la tragédie des communs, en explorant successivement la gestion du problème par l'État, puis par le marché. Une des principales critiques des travaux de Hardin a été formulée par Elinor Ostrom, qui rejette ces deux alternatives et propose une troisième solution : la gestion par les communs. Selon elle, « *il serait préférable de se pencher sur la manière de renforcer la capacité des acteurs concernés à changer les règles contraignantes du jeu, afin de parvenir à d'autres résultats que d'implacables tragédies* » (Ostrom, 1990, p. 19). Ce dernier chapitre a pour objectif d'explorer la gestion du problème des débris spatiaux à travers le prisme du commun. Peut-on envisager l'espace comme un commun global ? Peut-on gérer le problème des débris comme un commun ?

1. Les communs comme objet théorique multiple

Les communs se caractérisent par leur aspect pluriel et multidisciplinaire, ce qui en fait une notion particulièrement difficile à saisir. Ils sont étudiés dans des domaines aussi variés que le droit, la politique, la gestion, l'économie et les sciences sociales. Un des ouvrages de référence les plus récents a d'ailleurs été élaboré sous la forme d'un dictionnaire (Cornu, Osri, Rochfeld 2017), format le plus adapté à une approche synoptique. Le terme de commun est employé pour désigner des phénomènes très divers, provoquant parfois un phénomène de *common washing* (Fofack, Morère 2016). Après avoir présenté l'étymologie du terme et rappelé son origine (1.1), nous détaillons les grandes étapes de la pensée des communs, en commençant par la tragédie de Hardin (1.2), puis en revenant sur les apports de la théorie d'Ostrom (1.3), avant d'évoquer les courants plus récents des nouveaux communs (1.4) et des communs comme processus (1.5).

1.1. Étymologie et approche historique

« Commun » vient de l'anglais, *commons*, lui-même associé au mot latin *communis*. L'étymologie de ce mot comporte des spécificités intéressantes. *Communis* est composé de *cum* (notion de réciprocité) et de *munus*, dont la racine indo-européenne *mei* (échange) est associée au latin *munia*, (les charges officielles, les devoirs et les charges d'un magistrat). Le suffixe – *nes* aurait quant à lui une connotation sociale : « *Communis et communitas représentent, même*

avant leur contenu en utilisations spécifiques, l'idée du partage, de la réciprocité ainsi que des relations fondées sur des droits et des devoirs correspondants (et inversement) qui construisent un tissu social. Les communs, communes, les communia, ne sont pas uniquement des biens ou des ressources mais sont aussi des relations sociales qui se construisent autour d'elles » (Cornu et al., 2017, p. 259).

Déjà dans le droit romain, le commun englobe différentes notions. Il y a d'abord, la *res nullius* (également *extra patrimonium* ou *extra commercium*), qui désigne la chose qui n'appartient à personne mais qui pourrait faire l'objet d'appropriation, comme un territoire encore vierge. Ensuite, on trouve la *res communes omnium* (ou *res communis*), la chose qui appartient à tout le monde, à l'image de l'air, des océans, de l'espace, autrement dit le bien commun. Il faut aussi distinguer les *res publicae*, les choses qui appartiennent au peuple, comme les ponts, les routes, les monuments publics.

Le commun apparaît chez Aristote dans *l'Ethique à Nicomaque* et à deux reprises dans la *Politique*. La signification du terme change d'un livre à l'autre, mais l'on peut garder en tête trois grandes orientations pour penser le commun : « *Le bien suprême est le bien de la communauté ; la fin des législateurs est l'utilité commune ; la fin de la cité est le souverain bien* » (Sère, 2010, p. 278). Le bien commun est donc présenté comme le seul but à atteindre pour un régime politique vertueux : « *Les régimes qui visent l'avantage commun se trouvent être des formes droites selon le juste au sens absolu ; ceux, au contraire, qui ne visent que le seul intérêt des gouvernants sont défectueux* » (Aristote, *Politique*, 1279 a 17-20). La pensée aristotélicienne est reprise par les commentateurs et traducteurs latins, comme Thomas d'Aquin et Albert le Grand, puis vulgarisée aux XVe et XVIe siècles : « *Toutes les discussions des médiévaux sur la meilleure forme de gouvernement sont dépendantes de ce grand principe : le meilleur régime sera celui qui réalisera au mieux le bien commun en tout temps et en tous lieux.* » (Sère, 2010, p. 282). Cette vision alimente l'image, instrumentalisée par les traités politiques et didactiques, du monarque qui ne peut agir que pour le bien commun.

À partir de l'époque carolingienne, dans le royaume de France, se forment des communautés villageoises. Issues d'un mouvement de protestation contre la seigneurie à serfs, elles réclament la fin du servage et la redistribution de l'usage des terres. C'est ainsi qu'apparaît la seigneurie à cens, qui fait du seigneur « un simple rentier du sol » (Cornu et al., 2017, p. 248). Les communautés sont organisées comme des petites républiques, en assemblées auxquelles participent les hommes aussi bien que les femmes, et louent la terre au seigneur contre le paiement d'un impôt (le cens). On y trouve d'intéressants mélanges de formes de gestion

collectives et individuelles. Le fonctionnement en communaux ou en communautés familiales n'est pas le résultat d'un esprit particulier de solidarité ou d'entraide particulier chez ces paysans. Il répond seulement à une logique économique. La communauté doit se maintenir pour assurer la survie du groupe : « *le commun correspondait parfaitement à une économie de pénurie et de pauvreté* » (Cornu et al., 2017, p. 253). Peu à peu, les communs deviennent des éléments culturels importants. Ils figurent par exemple dans la Charte de la Forêt, document assez peu connu mais qui accompagne la Magna Carta de 1215, dans lequel à chaque homme libre (*every free man*) est attribué l'usage libre des biens communs près desquels il vit.

La découverte du Nouveau Monde, l'importation de métaux précieux et la dévaluation de la monnaie métallique qui s'ensuit entraînent une grave crise des rentes seigneuriales. Au XVI^e siècle, la situation est devenue critique. Pour compenser leurs pertes, les seigneurs cherchent à récupérer les terres qu'ils louent aux communautés villageoises. Ce mouvement, qui se déroule de manière presque simultanée en France et en Angleterre, prend le nom d'*enclosure*. En France, les seigneurs suppriment peu à peu tous les droits d'usage, obligeant les habitants à braconner ou à voler sur des terres qu'ils avaient l'habitude de cultiver. Dans la région du Poitou, les habitants censitaires s'étant fortement endettés au cours de la Guerre de Cent Ans et des guerres de religion, le seigneur n'a pas de mal à racheter leurs créances et leur censive (la redevance annuelle pour la terre), afin de reconstituer son patrimoine. Les communautés disparaissent complètement, remplacées par des métairies. L'organisation sociale de la région en est profondément modifiée, ainsi que son paysage. D'une campagne ouverte, le Poitou devient une région de bocages, parsemée de haies et de bosquets. À l'exception de cette région, la paysannerie ne fut pas complètement éradiquée en France. En Angleterre, au contraire, le mouvement des *enclosures* mena à une disparition totale des communautés villageoises et marqua le début de l'exode rural et à la concentration des biens fonciers entre les mains d'une élite de lords et de membres de la gentry (Bollier 2014).

Longtemps considérés comme un enjeu principalement juridique et économique, les communaux deviennent au XVIII^e siècle l'objet d'un débat idéologique : « *Les gouvernements doivent faire respecter 'l'ordre naturel' c'est-à-dire la liberté d'entreprise et de commerce et le droit de propriété ; d'autre part la richesse d'un pays découle du produit de l'agriculture. Les communaux sont irrémédiablement condamnés car ils ne sont pas assez productifs, seule la propriété privée, sans l'entrave des droits collectifs, permet la mise en valeur individuelle efficace* » (Cornu et al., 2017, p. 255). En Europe, les communaux sont considérés comme des systèmes archaïques et conservateurs, qui nuisent à la liberté individuelle et au droit

d'entreprendre. Des réformes sont mises en place dans le but de les supprimer. En France, cela sera fait au moment de la Révolution. Suite à la loi du 28 août 1792 qui vote le retour des communaux aux communautés villageoises qui en ont été usurpées, les modalités de partage des terres font débat : les paysans plus pauvres sont partisans d'un partage équitable des terres alors que les paysans plus riches défendent le maintien de terres partagées pour continuer d'y faire paître leurs troupeaux. Finalement, le partage est décrété facultatif. Cette loi du 10 juin 1793 « *n'a pas pour objectif d'éradiquer la propriété commune comme on le croit souvent mais de lutter contre l'accaparement et de garantir le droit à l'existence, c'est-à-dire de mettre en œuvre une politique républicaine telle que la conçoit le mouvement populaire.* » (Cornu et al., 2017, p. 769). Il faudra attendre la fin du XXe siècle pour que les communaux reviennent sur le devant de la scène, sous le terme de communs, dans la réflexion sur la protection de l'environnement.

Le commun existe donc depuis des siècles. On pourrait même le dire ancré dans les pratiques paysannes ancestrales. Cependant, la disparition des biens communaux avec le mouvement des *enclosures* dans les pays européens au XVIe siècle jette un voile sur son existence. Il faudra attendre le XXe siècle pour que ce terme soit repris et théorisé et fasse sa réapparition dans l'espace public et l'esprit collectif.

1.2. Hardin et la métaphore

Paradoxalement, les communs vont revenir sur le devant de la scène sous un angle peu avantageux, comme menant systématiquement à « la ruine de tous ». C'est l'expression qu'utilise Garrett Hardin, un écologue américain, né en 1915, auteur d'une thèse de microbiologie à Stanford et professeur à l'université de Californie. Il se réclame du courant eugéniste et défend la cause néo-malthusienne. Selon lui, les ressources disponibles sur la planète allant s'amenuisant, il devient nécessaire de contrôler les naissances pour éviter l'explosion démographique. En 1968, il publie dans la revue *Science* un article intitulé *La tragédie des communs*. Si sa théorie est largement inspirée de précédents travaux de Scott (1955) et Gordon (1954) qu'il omet de citer (Feeny et al. 1990), il semble qu'il soit l'inventeur de l'expression « tragédie des communs ». L'article aborde de nombreux sujets, notamment le thème de la surpopulation, puis propose au lecteur une expérience de pensée à partir de la métaphore du pâturage, dont l'usage était courant chez les agronomes depuis le XVIIIe siècle. Dans une prairie ouverte, des éleveurs font paître leurs vaches. Chaque vache représente un

bénéfice potentiel destiné à son éleveur. Chaque vache entraîne également la diminution de la quantité de pâturage disponible, ce qui nuit à tous les éleveurs. Si l'éleveur raisonne selon son intérêt individuel, il va chercher à maximiser le nombre d'animaux dans la prairie. Mais si tous les éleveurs suivent ce même raisonnement, l'herbe sera bientôt entièrement broutée et plus aucune vache ne pourra paître. Hardin conclut : « *Chacun est prisonnier d'un système qui l'oblige à augmenter son troupeau sans limite, dans un monde limité. Tous courent à la ruine, chacun poursuivant son intérêt personnel dans une société qui croit à la liberté des biens communs, liberté qui se traduit par la ruine de tous* » (Hardin, 1968, p. 29). Autrement dit, tout ressource naturelle est vouée à la surexploitation, l'intérêt individuel prévalant toujours sur l'intérêt collectif.

Nous ne revenons pas ici sur les deux solutions envisagées pour éviter la tragédie, le marché et l'État, dont les chapitres précédents ont déjà débattu. Concentrons-nous sur la réception de son article, qui connaît tout de suite un énorme succès, en même temps qu'il suscite de vives critiques. Certains auteurs dénoncent même une erreur « historique et conceptuelle » (Locher 2018). En effet, Hardin se trompe sur plusieurs points. D'abord, l'ancrage historique de sa notion ne tient pas : « *Although the tragedy of the commons may occur, that it regularly occurred on the common lands of medieval and post-medieval England is not true; the historical antecedents of the tragedy of the commons as developed by Hardin and others following the 1968 article, and as commonly understood by students and professors, are inaccurate.* » (Cox, 1985, p. 50). Ensuite, la métaphore du pâturage décrit une situation somme toute très singulière. Il s'agit d'abord d'une ressource en libre accès (sans modalités d'entrée, ou de règles de *membership*), utilisée par des individus purement rationnels, uniquement motivés par leur intérêt individuel, qui ne communiquent pas entre eux, ni ne partagent une culture ou des valeurs collectives. Hardin le souligne lui-même : son pâturage est « unmanaged ». Ce genre de situation relève plutôt d'une projection abstraite que d'une réalité ancrée dans un contexte social et culturel.

Malgré ses faiblesses (et même peut-être grâce à elles), la métaphore d'Hardin peut se vanter d'une exceptionnelle longévité. Au fil du temps, elle s'est ramifiée, transformée, elle s'est pliée aux analyses de différents champs scientifiques sans rien perdre de sa robustesse : « *Some metaphors, like some species, defy the odds and avoid extinction through a combination of felicitous factors such as clarity, abiding relevance and the ability to adapt. 'The Tragedy of the Commons', hatched in the pages of Science in December of 1968, is just such a metaphor. A father of four, Garrett Hardin apparently did not heed his own advice on the coercive*

restriction of human population growth – and neither has the world beyond China. But Hardin’s metaphor has proved far more durable than the thesis it was conceived to support, and has found a broad applicability far beyond the province of demography, extending into the fields property law, international relations, biotechnology and the Internet. At the age of 40, it remains as lean, mean and adaptable as the day it was born. » (Deese, 2008, p. 154).

L’article de Hardin a permis de remettre la question des communs et de la défense des ressources naturelles sur le devant de la scène intellectuelle, tout en contribuant à décrédibiliser profondément ce mode de gestion, notamment au profit de la privatisation et de la régulation étatique. En même temps, sa réflexion va engendrer un foisonnement de réflexions critiques qui, sous la houlette d’Elinor Ostrom, donneront naissance à un courant de pensée majeur dans le champ de l’action collective : la théorie de la gouvernance des biens communs.

1.3. La théorie des communs d’Elinor Ostrom

Elinor Ostrom est une économiste et politologue américaine née en 1933 à Los Angeles. Elle est la première femme à recevoir le prix Nobel d’économie en 2009 pour son analyse de la gouvernance économique et plus particulièrement de la gouvernance des biens communs. Son livre *Governing the Commons, The Evolution of Institutions for Collective Action* (1990) est un ouvrage de référence dans l’étude de l’action collective. Ses thèses seront développées au sein de l’École de Bloomington qu’elle fonde avec son époux, Vincent Ostrom.

On peut aborder la pensée d’Ostrom à travers sa classification des biens communs, qu’elle propose de distinguer selon deux critères : la possibilité d’exclusion de potentiels bénéficiaires de la ressource, et la rivalité autour de l’usage de la ressource. Ces deux variables permettent de distinguer quatre types de biens. Les *biens privés* garantissent une exclusion facile d’autres utilisateurs, avec une forte rivalité. On pense à la parcelle entourée de barbelés. Dans *les biens à péage*, on peut facilement exclure des utilisateurs, mais la rivalité est faible. Il s’agit par exemple d’un droit de passage sur un champ. La troisième catégorie désigne *les biens publics*, sans rivalité ni exclusion. C’est, par exemple, l’air qu’on respire. La quatrième catégorie, la plus intéressante, est appelée *biens communs*, mais également ressources communes, Common-Pool Resources, ou plus simplement *commons*. Elle désigne les ressources auxquelles il est difficile de limiter l’accès, mais qui comportent une dimension de rivalité. Ce sont des « *systèmes de ressources suffisamment importants pour qu’il soit coûteux (mais pas impossible) d’exclure ses bénéficiaires potentiels de l’accès aux bénéfices liés à son utilisation* » (Ostrom,

1990, p. 44). Contrairement aux biens publics, « les unités de ressource ne sont pas sujettes à une appropriation conjointe » (*ibid*, p. 46).

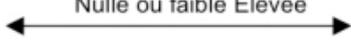
| | | | |
|--|---|--|--|
| | | RIVALITE (soustractabilité) Nulle ou faible Élevée  | |
| difficile EXCLUSION facile  | Biens publics disponibles/fabriqués | Ressources communes (ou CPR : <i>common pool resources</i>) | |
| | Biens à péage (toll goods) | Biens privés | |

Figure 6 Classification des biens communs d'après Ostrom (1990)

Extrait de Sgard (2010)

Dans ces situations, l'action collective doit faire l'objet d'une attention particulière. Or que ce soit dans la tragédie des biens communs (Hardin 1968), le dilemme du prisonnier (Tucker 1950) ou la logique de l'action collective (Olson 1966), les théories semblent toujours partir du principe que l'individu est passif et qu'il suit toujours son intérêt propre. Ostrom, au contraire, défend l'idée que les individus font de leur mieux : « *Au lieu de supposer que certains individus sont incompetents, mal intentionnés ou irrationnels alors que d'autres seraient omniscients, je présume que les individus disposent de capacités limitées, très similaires, de raisonner et de comprendre la structure des environnements complexes* » (Ostrom, 1990, p. 40).

Repoussant la gestion par la privatisation ou par une autorité centrale, Ostrom propose une autre solution qui consiste en l'élaboration par les individus d'un accord collectif, pris pour règle par l'autorité et qui peut être délégué à un agent externe. Les acteurs se surveillent entre eux et assurent le contrôle et le respect des règles. Ce système n'est pas exempt de défauts et court notamment le risque de voir apparaître des passagers clandestins : « *Les éleveurs peuvent surestimer ou sous-estimer la capacité de charge du pâturage. Leur propre système d'application peut s'effondrer. L'arbitre externe peut s'avérer incapable d'appliquer l'accord ex post après l'avoir promis ex ante. Une myriade de problèmes peuvent survenir dans les milieux naturels, comme dans des institutions théoriquement idéales de régulation centrale ou de propriété privée* » (Ostrom, 1990, p. 32).

Il faut donc que les acteurs s'organisent pour trouver des stratégies collectives et « *obtenir des bénéfices communs ou [...] réduire leur préjudice commun* » (*ibid*, p. 54). D'abord, il s'agit de mettre en place un nouvel ensemble d'institutions. Pour s'engager dans la création de nouvelles règles, les individus doivent créer un climat de confiance et un sens de la communauté. Ensuite, il faut que ces engagements soient crédibles et donc que les acteurs soient motivés pour respecter la règle. Enfin, il faut gérer le problème de la surveillance mutuelle et du contrôle. Ces décisions sont prises au sein d'arènes (cadre dans lequel un certain type d'action se produit) formelles et informelles de choix collectif, qui débouchent sur les règles opérationnelles en vigueur. Ostrom énonce huit principes fondateurs pour la mise en place d'une gouvernance des communs :

1. La définition des frontières des communautés
2. L'établissement de règles qui régissent l'usage des biens collectifs et répondent aux particularités locales
3. La possibilité pour les individus de modifier les règles
4. Le respect de ces règles par des autorités extérieures
5. L'existence d'une communauté qui contrôle l'application et le respect de ces règles
6. La mise en place d'un système graduel de sanctions
7. L'existence de mécanismes de résolution de conflits
8. La possibilité de résoudre les conflits à travers plusieurs strates imbriquées

Ostrom pose ainsi les bases de la théorie moderne des communs. Ses premiers travaux constituent un noyau théorique à partir duquel vont se déployer d'autres courants de recherche et se développer d'autres concepts, comme en témoigne le courant des "nouveaux communs".

1.4. Les « nouveaux communs »

Le début des années 1980 marque un tournant dans la réflexion sur les communs. Ces derniers vont commencer à être envisagés non plus comme des ressources préexistantes mais émergentes : « *They are novel types of shared resources that have emerged in addressing environmental and social problems fostered by heterogeneous groups and communities in different geographies. These communities are different from traditional collective action communities and aim to achieve participatory management and share the provision,*

distribution and ownership of new collective goods. They enhance new forms of collective action but without “pre-existing rules or clear institutional arrangement”. » (Hess, 2008, p. 2, cité in Albareda & Sison, 2020, p. 731). Ce changement de paradigme va avoir des conséquences importantes sur les cas empiriques mobilisés dans l'étude des communs. La notion, jusqu'alors appliquée principalement à des structures collectives localisées, va être utilisée pour étudier d'autres types de ressources, non seulement matérielles mais immatérielles (*knowledge commons*), non seulement locales mais globales (*global commons*). « *Commons is a general term that refers to a resource shared by a group of people. In a commons, the resource can be small and serve a tiny group (the family refrigerator), it can be community level (sidewalks, playgrounds, libraries, and so on), or it can extend to international and global levels (deep seas, the atmosphere, the Internet, and scientific knowledge). The commons can be well bounded (a community park or library); transboundary (the Danube River, migrating wildlife, the Internet); or without clear boundaries (knowledge, the ozone layer)* ». (Hess & Ostrom, 2007, p. 326).

1.4.1. Les communs de la connaissance

À la fin du XXe siècle, la propriété intellectuelle évolue et se ramifie dans tous les domaines de la société (génomique humaine, brevets sur les médicaments, logiciels et bases de données), à tel point que l'on commence à parler de « privatisation de la culture », de « nouvelles *enclosures* de la connaissance » (Boyle 2008). Les *enclosures* se multiplient dans les domaines scientifiques et de la création. En parallèle de ce phénomène, on assiste au développement d'Internet, outil qui ouvre des perspectives inédites dans le partage et la circulation des connaissances à travers le monde. C'est dans ce contexte particulier qu'apparaissent les communs de la connaissance. L'ouvrage de Hess et Ostrom *Understanding knowledge as a Commons* (2007) fait figure de référence sur cette question, rassemblant les premières réflexions sur l'usage des brevets et les logiciels libres.

Les communs de la connaissance combinent plusieurs dimensions. Se pose d'abord la question de l'accès à la connaissance et de sa diffusion, principe fondateur de Wikipédia par exemple. Selon Hervé Le Crosnier, « *pour garder son efficacité, la connaissance doit pouvoir s'étendre en permanence, ce qui va au-delà de l'accès, qui, par exemple, est depuis longtemps rendu possible par les bibliothèques* » (Le Crosnier, 2018, p. 30). Au-delà de l'accès et de la diffusion, les communs de la connaissance posent également la question de la reproduction et de la

réutilisation. Avec la création des licences *creative commons*, il devient possible pour les auteurs d'autoriser que leurs œuvres soient utilisées par d'autres. Les logiciels libres s'inscrivent dans cette même démarche de partage : « *un logiciel n'est jamais fini ; il doit s'adapter aux nouveaux environnements informatiques, les bogues méritent correction. Dès lors, permettre l'accès au code source, au programme tel qu'il est rédigé à l'origine, permet d'améliorer rapidement l'infrastructure technique et à chacun d'ajouter un élément spécifique, ce qui va intéresser les entreprises, qui peuvent disposer d'une base importante, et concentrer leurs efforts sur les spécificités de leur produit ou les demandes de leurs clients* » (Le Crosnier, 2018, p. 32). Cela touche au domaine éducatif avec le développement des ressources éducatives libres, partagées par des enseignants avec tous leurs collègues pour faire circuler les supports, mais aussi à d'autres secteurs, comme les *fablabs* et les *hackerspace*.

La conclusion de ces travaux dépasse largement son objectif initial. Il ne s'agit plus seulement d'étudier les communs de la connaissance, mais la connaissance des communs : « *en un sens, tous les communs sont des communs de la connaissance* » puisque le partage de l'information est un élément essentiel pour le succès de tout commun, qu'il soit mondial ou local, tangible ou intangible (Hess, in Coriat 2015). Les communs globaux, particulièrement, semblent entretenir une relation « symbiotique » avec les communs de la connaissance. En effet, la connaissance et la médiatisation des problèmes environnementaux sont essentielles à la mise en place de l'action collective (Dietz, Ostrom, Stern 2003). La connaissance joue donc un rôle majeur dans la mise en place et le maintien d'un commun global. Néanmoins, les études ne précisent pas de quel type de connaissance il s'agit, ni quelles sont ses caractéristiques ou la nature de leurs relations avec plusieurs catégories d'acteurs.

1.4.2. Les communs globaux

Toujours au début des années 1980 apparaît la notion de commun mondial ou *global commons* (Vogler 2012). Les global commons peuvent être définis comme de « *very large resource domains that do not fall within the jurisdiction of any one country are termed international commons or global commons* » (Buck, 2017, p. 6). Il faut distinguer les communs internationaux, exclusifs, qui sont partagés par plusieurs nations, comme l'Antarctique, par exemple, ou la Méditerranée, de ceux auxquels tous les États peuvent juridiquement avoir accès, comme l'espace extra-atmosphérique. Les communs globaux comportent quatre caractéristiques : ils ne sont la propriété de personne ; leur utilité est plus importante prise dans

son ensemble que décomposée en petites parties ; les États ou acteurs non-étatiques, dotés des capacités technologiques requises, peuvent y accéder et les utiliser à des fins économiques, politiques, scientifiques et culturelles ; mais également comme moyen de déplacement et comme théâtre de conflits militaires (Weeden, Chow 2011). Traditionnellement, il existe quatre communs globaux : l'Antarctique (bien que cela soit plutôt un commun international), les océans, l'espace aérien et l'espace extra-atmosphérique. Plus récemment, le cyberspace a également été envisagé comme un commun global (Joseph, Pillai 2020). La littérature provient principalement des communautés militaires et stratégiques (Jasper 2010) et se concentre sur l'élaboration de modèle de réponse au problème (Harrison, Lagunoff 2017). Toutefois, les communs globaux identifiés diffèrent beaucoup les uns des autres et doivent être comparés avec prudence. Chacun a une histoire particulière. Les réflexions sur le traité de la mer remontent au XIII^e siècle, alors qu'on n'a commencé à s'intéresser à l'espace à partir des années 1950. Leur régime juridique varie. Certains sont gouvernés par les Nations Unies et d'autres non. Les ressources qui les composent peuvent également être renouvelables, non-renouvelables, et parfois les deux : « *Antarctica is a domain in which numerous kinds of resources, from oil (nonrenewable and stationary) to penguins (renewable and fugitive), are found. Its geography provides unique opportunities for scientific research; thus, part of its resource base is spatial, just as space is a spatial-extension resource for telecommunications. A second commons, the oceans, contains resources that may be fugitive or stationary and renewable or non-renewable. Technology to exploit the non-renewable mineral resources of the deep seabed now exists, but the depressed price of minerals makes mining unprofitable. The atmosphere and outer space are, for now, primarily spatial-extension resources, but this may change as exploration uncovers new sources of exploitable resources and technology improves to allow access* » (Buck, 2017, p. 11).

Les travaux d'Ostrom portaient principalement sur des ressources communes à l'échelle locale, c'est-à-dire qui comptent entre 50 et 15 000 personnes, très dépendantes économiquement de la ressource, avec des frontières bien définies comme des zones de pêche littorale, des petites zones de pâturage, de la gestion de nappes phréatiques, des systèmes d'irrigation et des forêts communales. Néanmoins, il existe également des tragédies des communs à l'échelle globale (Ostrom et al., 1999). L'articulation entre communs locaux et communs globaux devient une problématique centrale de la réflexion sur les communs. Young & Bouyssou (2000) montrent qu'il existe des différences structurelles importantes entre communs locaux et globaux, notamment en ce qui concerne la nature des acteurs, le contexte social et le fonctionnement des

communautés. Néanmoins, Ostrom et ses collègues voient un moyen d'appliquer certains principes de design à une autre échelle, par l'inclusion de toutes les parties prenantes dans le dialogue collectif (*analytic deliberation*) et la présence de structures de gouvernance imbriquées à plusieurs niveaux (*nesting*) (Dietz, Ostrom, & Stern, 2003). Ensuite, et surtout, il faut une variété ou diversité institutionnelle (*institutionnal variety*), c'est-à-dire plusieurs types d'institutions impliquées dans la création de normes (Ostrom et al. 1999).

1.5. Le commun comme processus

L'apparition des « nouveaux communs » a permis d'opérer un changement de paradigme, en considérant les communs non pas comme existant a priori, mais comme devant être identifiés, organisés, maintenus et défendus. Le commun ne concerne donc plus la ressource en tant que telle mais le processus social de « mise en commun », également appelé *commoning* (1.5.1), ainsi qu'un processus d'*organizing* (1.5.2).

1.5.1. Le commun comme processus social

L'idée du commun comme processus social était déjà présente en filigrane dans les travaux d'Ostrom, avec les notions d'« institutions auto-organisées » et de capacité des groupes à définir collectivement les règles de la gestion de la ressource (Euler 2018a). Ce processus désigne la mise en commun d'une ressource, de la création du commun à l'organisation de son exploitation et à la garantie de son maintien. Les définitions ci-dessous montrent comment les auteurs évoquent les communs comme un « processus social de production et d'organisation » (Fournier 2013), mais également un « agencement social particulier » (Le Crosnier 2015), des « systèmes sociaux » (Angelis, Harvie 2013), un « construit social » (Leyronas, Bambridge 2018).

| Auteur | Page | Définition |
|-----------------------------|------|---|
| De Angelis & Harvie (2013) | 1 | « The commons are social systems in which resources are shared by a community of users/producers, who also define the modes of use and production, distribution and circulation of these resources » |
| Fournier (2013) | 434 | « Nous ne considérons plus les biens communs comme un simple ensemble limité de ressources, mais comme un processus social de production et d'organisation » |
| Le Crosnier (2012) | 195 | « Ce qui est alors ouvert au partage n'est pas seulement une ressource, mais un agencement social particulier ; en conséquence, sa préservation passe par la prise de conscience des interactions sociales permettant ce partage. » |
| Leyronas & Bambridge (2018) | 14 | « Un commun est un construit social qui apparaît au travers des processus d'énonciation ainsi que des pratiques. » |

Tableau 13 Définitions du commun comme processus social

Relativement récentes, les études sur le commun comme processus social s'inscrivent dans une compréhension politique du commun, envisagé comme une alternative à des systèmes de propriété privée, des logiques de marchés ou de gestion étatique, au système capitaliste (Coriat, 2015 ; Dardot & Laval, 2015 ; Fournier, 2013). Il renvoie à un processus de « création du monde » ou le fondement d'une nouvelle société : « *Le matériel et les pratiques discursives [...] produisant des mondes en commun, des mondes partagés, qui ont un pouvoir immanent et une logique interne radicalement différents des valeurs et pratiques de savoirs de la production capitaliste libérale, de la régulation technoscientifique.* » (Bresnihan, 2016, p. 106). Ce courant de recherche est notamment porté par des auteurs critiques, qui s'inscrivent dans des champs d'études marxistes (Linebaugh 2008), féministes (Federici 2019) ou d'écologie politique (Euler 2018a). Le commun devient le support d'une réinterprétation politique, pouvant mener à repenser le système de propriété et le rôle de l'État, afin de réintroduire du collectif dans la vie politique actuelle : « *Le commun serait une forme d'action – le « faire commun » qui pousserait à réinterpréter le rôle des États et de la propriété, qu'elle soit publique ou privée. Ces modèles, qui ont dominé nos formes d'organisation sociale moderne, auraient montré leurs limites en confinant à des gestions égoïstes ou déséquilibrées. Le commun est ici proposé en alternative à ces figures tutélaires, selon des vellétés de présider autrement à la destination du monde qui*

nous entoure et de réinterpréter les valeurs sur lesquelles il s'appuie ; en fonction des divers tenants et théories, il est revendiqué en figure concurrente ou complémentaire de l'État ou de la propriété. » (Cornu et al., 2017, p. VIII). Le commun est considéré comme une alternative au néo-libéralisme, dans la manière de créer de la valeur et de résoudre des problèmes environnementaux.

1.5.2. Le commun comme processus d'organizing

La littérature en gestion s'est plus récemment intéressée à la notion de communs, sous l'angle du processus organisationnel. En 2020, un numéro spécial du *Journal of Business Ethics* est consacré à cette problématique. Y sont décrits les processus d'organisation (*organizing*) des communs, « *the processes by which communities of people work in common experimenting with new organizational designs that promote common goods production, distribution, governance and ownership in the pursuit of the common good* » (Albareda & Sison, 2020, p. 728).

Table 1 Comparative analysis of the ethical and economic approaches

| Concepts | Ethical approach Theory of the common good of the firm | Economic approach Institutions for collective action theory |
|--------------------|---|--|
| Fields of research | Business Ethics: Virtue Ethics | Economy: New Institutional Economy |
| Ontology | Normative, ethics and virtues | Positivism, human cooperation/collective action as social phenomenon |
| Main sources | Common good of the firm (Mele 2009, 2012; Sison 2007; Sison and Fontrodona 2012) Aristotelian ethics Thomistic ethics Catholic social teaching | Institution for collective action (Ostrom 1990) Community-based enterprises (Peredo and Chrisman 2006; Haugh 2007) Polycentric governance (Ostrom 2010) Commoning (De Angelis 2017) |
| Human behavior | Personalism (Mele 2009) Personal fulfillment and community flourishing | Self-interest (Olson 1965) The tragedy of the commons (Hardin 1965) |
| Theory | Communities of people that work for the common good The production of goods and services necessary for human flourishing Subsidiarity principle Teleological approach to the firms to achieve the common good of organizations and society | Local communities of owners share the ownership of common-pool resources and develop a set of common design principles to collectively manage these resources Common-property regime in which a group of resource users share rights and duties towards a resource Collective incentives to generate collective benefits, trust and social capital |
| Capitalism | Aspirational: solving the challenges of market capitalism | Transformative: critical transformation of markets capitalism |

Figure 7 Analyse comparative entre « common good » et « common goods »

Extrait de Albareda & Sison, 2020, p. 729

Deux approches se côtoient au sein de cette littérature : celle du *common good* et celle des *common goods* (voir aussi Meyer & Hudon, 2019, p. 279). La première s'appuie sur la théorie du bien commun de la firme (Mele, 2009), qui décrit des communautés de personnes œuvrant

collectivement pour le bien commun au sein d'organisations. La seconde est celle du commun comme une action collective autour d'une ressource partagée. Cette approche vise la compréhension du processus selon lequel les futurs communs ou « inconnus communs » (Berthet 2013; Le Masson, Weil 2014) sont révélés, la manière dont les acteurs se sont coordonnés, ont organisé les règles et la régulation, et les outils de gestion mis en place. Il s'agit de penser l'émergence des communs et les changements institutionnels qui les accompagnent (Labatut, Aggeri, Allaire 2013). Shahzad Ansari, Frank Wijen et Barbara Gray (2013) décrivent ainsi la mise en place d'une logique des communs dans un contexte transnational. Ils observent comment une nouvelle logique des communs émerge parmi les acteurs. Selon Ben-Slimane et al. (2020), il faut néanmoins distinguer entre plusieurs types de communs. Il existe des *full commons*, qui sont reconnus comme tels, socialement et légalement, mais également des communs contestés (*contested commons*), qui ne font pas l'unanimité en tant que communs (« *resources and artifacts whose social meaning is contested or challenged, which triggers conflicts about ownership, management and use* » (Ben-Slimane et al., 2020, p. 673). Dans le premier cas, du type de celui décrit par Ansari (2013), la communauté se construit peu à peu autour du commun et converge. En revanche, dans le commun contesté, il existe déjà une communauté dans laquelle il s'agit d'introduire une logique de commun qui ne fait pas l'unanimité. À mi-chemin entre ces deux catégories, on trouve les communs « de facto », qui sont reconnus socialement mais pas légalement comme des communs (« *whereas contested commons suffer from the lack of both legitimacy and legal endorsement, de facto commons are legitimate but illegal* », Ben-Slimane et al., 2020, p. 686). Il nous faut également mentionner ici les travaux de Helen Micheaux, qui propose de penser une nouvelle forme de commun appelé le commun-déchet, de par sa possible valorisation dans le cadre d'un marché d'économie circulaire (Micheaux, 2017). S'il semble difficile de parler de déchet-commun dans le cas des débris spatiaux étant donné la difficulté de valoriser les débris, ce travail de recherche fournit un exemple riche de l'utilisation de l'analogie avec les communs pour penser un problème complexe et pour décrire les liens étroits qui existent entre commun, marché et État, impliquant notamment des mécanismes de co-régulation (Micheaux, Aggeri 2019).

L'évolution conceptuelle de la notion de commun est particulièrement riche. Après avoir rappelé ses origines historiques, on a montré dans cette section qu'après une longue absence, la notion a été remise sur le devant de la scène par Hardin. Elle a ensuite été

approfondie par Ostrom, avant de se diffuser plus largement dans les années 1980 avec l'apparition des « nouveaux communs », jusqu'à n'être plus seulement un nom mais un verbe, et être étudié comme un processus social et organisationnel.

2. Le cas des débris spatiaux à la lumière des théories des communs

Les communs constituent un ensemble complexe de notions voisines, qui parfois se recoupent, mais désignent des phénomènes bien distincts. On peut notamment établir une différence entre trois grandes approches. D'abord, le commun peut être considéré comme un type de ressource. C'est l'esprit de la typologie des biens communs d'Elinor Ostrom, par exemple, ou le socle de la définition des communs mondiaux. Mais le commun constitue également un problème particulier d'action collective, dans lequel l'intérêt individuel entre en conflit avec l'intérêt collectif. C'est la situation que Hardin décrit avec la tragédie des communs, ou le type de problèmes étudiés par Ostrom. Enfin, le commun peut être pensé comme un mode de gestion en lui-même, ainsi que l'envisagent les études sur l'*organizing* des communs.

Ces distinctions semblent importantes. L'apparition des nouveaux communs, et l'ouverture à des situations empiriques extrêmement variées ont permis d'élargir la notion du commun comme type de ressource. Le commun ne préexiste pas forcément et peut être construit. On voit aussi que les ressources pouvant être qualifiées de commun ne sont pas forcément gérées « en commun ». Toutes ne posent pas non plus de problèmes d'action collective. Enfin, ce n'est pas parce qu'on constate un problème d'action collective que la gestion « en commun » se met naturellement en place. En prenant en compte ces trois approches, nous posons la question suivante : dans quelle mesure le problème des débris spatiaux peut-il être traité comme un commun global ? L'enquête empirique au cœur de ce chapitre explore notre cas des débris spatiaux, ainsi que l'espace en général, à travers ces trois approches des communs : le commun comme ressource (2.1), le commun comme problème d'action collective (2.2) et le commun comme mode de gestion (2.3).

2.1. Le commun comme ressource

Comme l'Antarctique, les océans, l'atmosphère, l'espace extra-atmosphérique appartient à la catégorie des communs globaux, envisagés comme un type de ressources transfrontalières qui

ne peut pas faire l'objet d'une appropriation. La liberté d'accès aux orbites figure dans les traités fondateurs du droit de l'espace. Contrairement à l'espace aérien, les propriétés physiques de l'espace extra-atmosphérique empêchent de délimiter des zones nationales.

| Critères d'un commun global | Caractéristiques de l'espace extra-atmosphérique |
|---|---|
| Il n'est la propriété de personne | Outer Space Treaty, Article II : « <i>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.</i> » |
| Son utilité est plus importante prise dans son ensemble que décomposée en petites parties | L'espace ne peut pas être compartimenté en zones nationales. Il peut éventuellement l'être par zones orbitales, mais les activités spatiales se déroulent sur plusieurs d'entre elles. |
| Les États ou acteurs non-étatiques, dotés des capacités technologiques requises, peuvent y accéder et l'utiliser à des fins économiques, politiques, scientifiques et culturelles | Outer Space Treaty, Article I : « <i>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. Les recherches scientifiques sont libres dans l'espace extra-atmosphérique, y compris la Lune et les autres corps célestes, et les États doivent faciliter et encourager la coopération internationale dans ces recherches.</i> » |

| | |
|--|--|
| <p>Il peut potentiellement être utilisé comme moyen de déplacement et comme théâtre de conflits militaires</p> | <p>Article IV de l’OST : « <i>Tous les États parties au Traité utiliseront la Lune et les autres corps célestes exclusivement à des fins pacifiques. Sont interdits sur les corps célestes l’aménagement de bases et installations militaires et de fortifications, les essais d’armes de tous types et l’exécution de manœuvres militaires. N’est pas interdite l’utilisation de personnel militaire à des fins de recherche scientifique ou à toute autre fin pacifique. N’est pas interdite non plus l’utilisation de tout équipement ou installation nécessaire à l’exploration pacifique de la Lune et des autres corps célestes.</i> »</p> |
|--|--|

Tableau 14 Envisager l’espace extra-atmosphérique comme un commun global, d’après Weeden & Chow (2011)

L’espace extra-atmosphérique est un commun global relativement jeune, comparé aux océans. Il se distingue également par la difficulté à définir ses frontières, et le fait que son maintien (la poursuite des activités spatiales) semble moins essentiel à la survie de l’humanité que d’autres communs globaux : « *By treaty language, there is no sovereignty in space, the edges of space are not defined (either where space begins above the Earth or the outer limits of space), and the terrestrial economy may benefit from, but does not need outer space for survival.* » (Hertzfeld et al., 2016, p. 6).

L’espace extra-atmosphérique peut être associé à une ressource de type commun global. En va-t-il de même pour le problème des débris ? Que peut-on désigner par ressource ? À première vue, la réponse est simple. Ce sont les orbites qui représentent la ressource, exploitées par les satellites qui les encombrant, risquant de la saturer et d’empêcher son renouvellement, c’est-à-dire son nettoyage naturel. En repartant de la classification des biens d’Ostrom, les orbites peuvent être considérées comme des Common-Pool Ressources (Weeden, Chow 2011). Il n’y a pas d’exclusion possible, puisqu’il est impossible d’empêcher l’accès à l’espace. Si l’on part du principe que la ressource consommée est l’espace disponible, comme c’est le cas pour les

orbites géostationnaires, on peut alors considérer que la rivalité est faible : il y a suffisamment d'espace pour que tous les satellites se côtoient. Or on sait qu'un seul débris peut causer à lui seul une catastrophe. À l'inverse, on peut théoriquement envisager que des milliers de satellites bien coordonnés puissent coexister paisiblement. Le véritable problème ne repose pas dans le rapport entre le nombre de satellites et l'espace disponible, mais plutôt dans l'absence de coordination de ces satellites et leur capacité à éviter les collisions. Autrement dit, il ne s'agit pas de gérer une ressource qui diminue mais plutôt un risque qui augmente. Si l'on considère que la ressource n'est pas l'espace disponible mais le risque de collision, la rivalité devient importante.

Pour résumer, l'espace extra-atmosphérique appartient à la catégorie des communs globaux mais le problème des débris spatiaux entretient un rapport ambigu avec la notion de ressource. Si l'on envisage les orbites comme des Common-Pool Resources, comme le fait la littérature, il faut alors percevoir le problème en termes de risque. L'enjeu repose sur le maintien de notre capacité à aller dans l'espace, plutôt que sur le maintien de l'orbite en elle-même.

2.2. Le commun comme problème d'action collective

Les débris spatiaux posent un problème d'action collective. Plusieurs acteurs que nous avons rencontrés décrivent le problème des débris spatiaux comme une tragédie des communs. L'association du problème des débris à la métaphore du pré semble aisée. Sur les orbites basses (le pré) gravitent les satellites (les vaches) appartenant à des agences, à des États, à des armées, à des entreprises privées (les éleveurs). Selon le droit de l'espace, il n'y a pas de restriction quant à l'accès à la ressource, c'est-à-dire sur l'envoi de satellites : n'importe quel propriétaire peut envoyer le nombre de satellites qu'il souhaite (tout le monde peut envoyer ses vaches paître dans le pré). Dans le pré, l'herbe est mangée, puis repousse. Il s'agit seulement d'attendre pour que le stock se renouvelle. Dans l'espace, le fonctionnement est le même. Il faut attendre que les satellites redescendent dans l'atmosphère (ce qui peut prendre des centaines d'années) pour que la ressource, c'est-à-dire l'espace disponible sur les orbites basses, se renouvelle. Or de même que les éleveurs privilégient l'ajout de nouvelles vaches dans le pré au détriment de la repousse de l'herbe, les opérateurs préfèrent envoyer toujours plus de satellites. C'est sur cet argument que repose le raisonnement des quelques articles qui associent le problème des débris avec la tragédie des communs (Chaddha, 2012 ; Salter, 2015) : « *The space debris problem is*

thus a textbook example of the “tragedy of the commons”. Because nobody controls the resources and the rights associated therewith, especially the right of exclusion, nobody has any incentive to undertake the effort necessary to prevent future debris buildup. In addition, nobody has any incentive to economize activities, such as future spacecraft launches that further contribute to space debris clutter. Of course, when all parties interested in space access act according to this logic, the unintended result is an outcome—polluted orbital space—in which everyone is worse off. This unfortunate outcome is an example of what economists call market failure—a situation where the privately beneficial strategy differs from the socially optimal strategy. » (Salter, 2015, p. 12). Néanmoins, dans la métaphore, les vaches ne produisent pas déchets qui empêcheraient progressivement d'autres vaches de venir paître. La présence de débris implique également la notion d'irréversibilité, absente du raisonnement de Hardin. L'atmosphère nettoie les satellites naturellement, mais selon le syndrome de Kessler, l'augmentation du nombre d'objets en orbite rend inefficace la capacité de régénération de l'atmosphère.

On pourrait aller plus loin et se demander à quelle échelle se situe le problème de l'action collective autour des débris spatiaux. En effet, les problèmes de communs à l'échelle locale et à l'échelle globale renvoient à des situations d'action collective très différentes. Young & Bouyssou (2000) traitent de cette articulation en identifiant les critères différenciant entre commun à l'échelle globale et commun à l'échelle locale. Il s'agit par exemple de la différence entre les parties prenantes et les utilisateurs, de l'écart entre la règle formelle et la règle opérationnelle, du contrôle des acteurs, des normes sociales et culturelles, de la place du problème, du rôle de la communauté, de l'attribution de l'autorité et de la portée du risque.

| | Commun à l'échelle locale | Commun à l'échelle globale |
|---|---|---|
| Différence entre utilisateurs et parties prenantes | Aucune : les utilisateurs sont les seuls concernés par le maintien de la ressource, leur problème est de se mettre d'accord sur leurs propres actions | Importante : d'autres acteurs que les utilisateurs sont concernés par le maintien de la ressource |
| Écart entre la règle formelle et la règle opérationnelle | Peu d'écart entre la règle et sa mise en œuvre : les régulateurs sont aussi les utilisateurs | Écart parfois très important entre la règle et la mise en œuvre |
| Contrôle des acteurs | Facilité de contrôle des acteurs | Difficulté de contrôler les acteurs et présence de passagers clandestins |
| Normes sociales et culturelles | Normes partagées entre les membres du groupe et pouvant jouer dans l'établissement de sanctions | Normes moins visibles |
| Place du problème par rapport aux autres préoccupations | Problème central | Problème secondaire |
| Rôle de la communauté | Rôle central | Rôle secondaire |
| Attribution de l'autorité | Simple : les acteurs gèrent leurs propres actions | Complexe : il n'est pas évident de déterminer qui doit être régulateur |
| Portée du risque | Risque local | Risque global qui dépasse les limites de la ressource |

*Tableau 15 Différences entre commun à l'échelle locale et à l'échelle globale
d'après Young & Bouyssou (2000)*

On pourrait penser que le cas des déchets spatiaux renvoie à un problème de commun global. En effet, il semble impossible d'imposer un contrôle restrictif du comportement des acteurs, la

place du problème n'est pas centrale au sein de la communauté spatiale mais le risque est global, et il peut avoir des conséquences secondaires sur Terre et sur les opérations spatiales à venir. Cependant, par certains aspects, le problème des débris spatiaux semble relever du commun local. Si le problème est global, il ne concerne directement qu'une communauté d'acteurs restreinte, du moins par rapport à d'autres communs mondiaux. De plus, ce problème ne menace pas directement la survie de l'humanité. Les utilisateurs de la ressource sont à la fois les régulateurs, mais aussi les pollueurs et les victimes. La communauté joue un rôle central dans la promotion du problème. D'autres critères sont moins évidents à distribuer d'un côté ou de l'autre. Par exemple, il est difficile d'évaluer le rôle des normes sociales et culturelles qui sont certes moins visibles que dans une communauté locale, mais néanmoins présentes dans l'organisation de la communauté d'experts internationaux.

Le problème des débris spatiaux est généralement associé à une tragédie des communs car il incarne une tension entre intérêt individuel et intérêt collectif. Cependant, ce problème semble relever d'un type de commun hybride, comportant à la fois des caractéristiques d'un problème local et celles d'un problème global.

2.3. Le commun comme mode de gestion

Le fait que l'espace soit considéré comme un commun global, au sens de ressource, n'implique pas qu'il soit géré comme un commun, au sens de mode de gestion. De fait, l'espace n'a jamais été organisé ni pensé comme un commun sur le plan juridique. Les traités ne mentionnent pas les termes de *res communis*, *res nullius*, *global commons*, et encore moins de *Common-Pool Resources*. Dans le traité de l'espace, on parle seulement de *province of all mankind* : « *The exploration and use of outer space, including the Moon and other celestial bodies, shall be carried out for the benefit and in the interests of all countries, irrespective of their degree of economic or scientific development, and shall be the province of all mankind* », mais ce terme n'a pas de signification réelle sur le plan juridique. Le Traité de la Lune développe cette idée avec la notion de patrimoine commun de l'humanité (« *the Moon and its resources are the common heritage of all mankind.* »), mais il n'a jamais été signé ni ratifié par aucune des grandes puissances spatiales : « *The reluctance of spacefaring nations to accede to the Moon Agreement may be explained by their unwillingness to constrain their future activities or commit to what may be interpreted as a distributive regime* » (Tepper, 2019, p. 2). Aujourd'hui, l'espace n'est pas organisé comme un commun. Son cadre juridique ne mentionne pas le terme,

aucun des principes d'Ostrom n'est appliqué, il n'existe pas de véritable gouvernance collective de la question. En va-t-il de même si l'on considère les différentes zones orbitales ?

L'orbite géostationnaire fournit un exemple d'une zone orbitale organisée en commun. Située à 36 000 km d'altitude, elle se caractérise par une période orbitale qui correspond à celle de la rotation de la Terre et une inclinaison orbitale nulle. Un satellite placé sur cette orbite se déplace exactement à la même vitesse que la Terre en suivant la ligne de l'Équateur, ce qui lui permet de rester en permanence au-dessus du même point. Les emplacements de l'orbite géostationnaire constituent une ressource limitée et précieuse. Afin de gérer l'accès à ces places de parking célestes, une organisation internationale a été mise en place : l'International Telecommunication Union (ITU). Dans un premier temps, les places sont attribuées à tous les pays, indépendamment de leurs capacités. À la fin des années 1980, les îles Tonga déposent une demande pour seize emplacements, sans avoir jamais lancé un seul satellite, avant de les revendre aux enchères pour des sommes extravagantes. Suite à cet incident, l'ITU revoit son fonctionnement et décide de n'attribuer des emplacements qu'aux nations capables d'envoyer des satellites. Ce fonctionnement est critiqué pour l'avantage qu'il octroie aux nations les plus avancées sur le plan technologique, même si l'ITU annonce vouloir davantage prendre en compte les besoins des pays en voie de développement. Dans l'ensemble, le système de répartition des emplacements d'orbite entre en conflit avec le traité de l'Espace, qui interdit formellement toute appropriation nationale : « *The ITU seems to focus on the idea of "access" rather than ownership. However, despite the label, when a satellite fills an orbit slot, the party occupies that space and effectively asserts sovereignty. This concept seems no different than an unmanned station on the moon; the space being used becomes inaccessible to others* » (Buxton, 2004, p. 705).

Passons aux orbites basses, où se concentrent les débris spatiaux. On a vu que ces orbites pouvaient être considérées comme des ressources communes, et que les débris spatiaux posaient bien un problème d'action collective. Est-il pour autant géré comme un commun ? En nous appuyant sur l'article de Weeden & Chow (2011), reprenons les huit principes d'Ostrom pour les confronter au cas.

| Principes de design d'Ostrom | Gestion des orbites basses terrestres |
|---|---|
| <i>Clearly defined boundaries</i> | Les frontières des orbites basses ne sont pas déterminées avec précision. On ne s'accorde pas non plus sur la définition des objets spatiaux, ni sur la catégorisation des différents acteurs qui utilisent ces orbites. |
| <i>Congruence</i> (les règles doivent être propres à la ressource CPR) | Oui, il existe des règles spécifiques |
| <i>Collective choice arrangements</i> (les utilisateurs doivent être acteurs dans l'élaboration des règles) | Plutôt, bien que de nombreux utilisateurs ne participent pas aux forums de décision |
| <i>Monitoring</i> (être en mesure de déterminer si les acteurs respectent ou non les règles) | Difficile jusqu'à présent. |
| <i>Graduated Penalties</i> (établir des sanctions graduelles) | Les sanctions existent au niveau national, mais pas sur la <i>soft law</i> internationale (excepté le <i>naming and shaming</i>). |
| <i>Conflict resolution mechanisms</i> (établir des mécanismes de résolution juridique en cas de conflit.) | Non, il n'y a pas de jurisprudence, cas par cas. |
| <i>Nested Enterprises</i> (les règles propres à la CPR doivent être soutenues par d'autres règles à d'autres niveaux) | Plutôt, on voit peu à peu émerger de nouvelles réglementations nationales qui viennent soutenir les réglementations de l'ONU. Cependant, des efforts doivent encore être fournis pour renforcer cette régulation multi-niveaux. |

Tableau 16 Envisager la gestion en commun des orbites basses
d'après Weeden & Chow, 2011.

Les orbites basses sont partiellement gérées comme un commun, du moins tel que le décrit Ostrom (1990). Il existe des règles propres à la gestion de cette ressource, plusieurs catégories d'acteurs participent à la création de règles (du moins à la *soft law*). Cependant, les frontières du problème ne sont pas bien définies, il est difficile de déterminer si les acteurs respectent les

règles et si les sanctions existent pour certaines lois nationales, le comportement des acteurs en fait rarement l'objet.

| Approche | Espace extra-atmosphérique | Problème des débris spatiaux |
|--|--|---|
| Le commun comme ressource | Oui, c'est un commun global | Oui, mais il existe une ambiguïté sur la nature de la ressource (l'orbite, le risque ?) |
| Le commun comme problème d'action collective | N/A | Oui, c'est une tragédie des communs, mais à une échelle hybride (mi-locale, mi-globale) |
| Le commun comme mode de gestion | Non, l'espace n'est pas géré comme un commun | Partiellement : oui sur le mode de régulation, non sur le contrôle ou les sanctions. |

Tableau 17 Application des trois approches des communs au cas de l'espace extra-atmosphérique et des débris spatiaux

L'espace est un commun global, en tant que ressource, mais il n'est pas géré comme un commun, ni ne pose a priori de problème majeur d'action collective. La question des débris spatiaux peut faire l'objet d'une lecture différente. On peut voir que les orbites basses, sur lesquelles se concentrent les débris, peuvent être envisagées comme des communs dans le sens de ressources communes (CPR). On ne peut pas réguler leur accès, et l'action d'un seul utilisateur peut les endommager. Il faut souligner l'ambiguïté de la notion de ressource dans le problème des débris spatiaux, qui renvoie non pas à l'orbite mais plutôt à notre capacité d'accéder à cette orbite sans risque.

Conclusion du Chapitre 5.

Elinor Ostrom a opposé aux deux solutions de Hardin, l'État et le marché, un troisième mode de gestion de problèmes d'action collective : la gestion par les communs. Cependant, les communs sont une notion polysémique. Il s'agit d'un type de ressource, dont il est difficile de restreindre l'accès mais que chacun peut endommager au détriment des autres, également d'un

type de problème d'action collective qui oppose intérêt individuel et intérêt collectif, et, enfin, d'un mode de gestion.

Si l'espace extra-atmosphérique appartient à la catégorie des communs globaux, les débris spatiaux ne représentent pas une ressource en tant que telle, si ce n'est un « mal commun ». On est bien dans une situation de tragédie des communs, mais qui apparaît comme un type de problème hybride, situé à mi-chemin entre problème local et global. Enfin, certains aspects de la gestion du problème des communs évoquent la gestion en commun telle que la décrit Ostrom, notamment à travers la mise en place d'un système de régulation qui implique des parties prenantes variées. Cependant, il n'existe pour l'instant aucun moyen de contrôler l'application de ces règles, ni de mettre en place des sanctions pour les *free riders*. Ainsi, bien qu'elle ne puisse s'appliquer au problème que de manière partielle, la notion de commun semble incontournable pour aborder la gestion du problème des débris spatiaux.

Résumé du Chapitre 5.

La notion de commun est complexe : elle peut désigner une ressource existante, un type de problème d'action collective ou un mode de gestion. Son application à l'espace et au problème des débris spatiaux a été tentée, mais soulève des problèmes théoriques complexes. Dire que l'espace est une ressource commune semble trop général et il faut sans doute distinguer entre différentes zones orbitales ; dire que le problème de la multiplication des débris prend la forme d'une tragédie des communs semble approprié, mais l'analogie se complexifie lorsque l'on intègre l'échelle à laquelle se déploie le problème ; enfin, envisager une gestion en commun est encore très éloigné de ce qui se passe aujourd'hui, notamment en matière de régulation. Toutefois, en l'absence d'une gestion possible par un État mondial ou par le marché, l'approche par les communs paraît, malgré les problèmes qu'elle soulève, une source d'inspiration fertile pour penser la gestion de problèmes complexes d'échelle planétaire.

Chapitre 6 – Gérer les problèmes complexes d'échelle planétaire par le *commoning* global

Les problèmes complexes d'échelle planétaire ne semblent pouvoir être gérés ni uniquement par l'État, ni uniquement par le marché, ni uniquement par les communs. L'analyse du cas des débris spatiaux a montré que leur gestion intégrait des éléments de chacune de ces dimensions, sans qu'aucune à elle seule ne parvienne à expliquer complètement les mécanismes organisationnels à l'œuvre. Les règles produites sur les débris prennent des formes disparates, et sont produites par des forums multiples, mais font l'objet d'une coordination. Le succès d'un potentiel marché des débris spatiaux est caractérisé par une forte incertitude, mais pourrait jouer un rôle important. Enfin, le problème des débris ne semble faire que très partiellement l'objet d'une gestion « en commun », mais il renvoie néanmoins à un problème d'action collective typique des problèmes de communs. Autant d'éléments qui nous poussent à penser autrement la gestion des problèmes globaux. Dans ce chapitre, nous présentons un nouveau concept permettant de décrire le phénomène observé à travers l'analyse des débris spatiaux : le *commoning* global. Le *commoning* global désigne un mode de gestion de problèmes globaux qui suppose l'existence d'une communauté d'experts, impliqués dans la gestion du système polycentrique de régulation, produisant collectivement la connaissance essentielle à la gestion du problème, et chargés de sa diffusion en dehors des frontières de la communauté.

Nous nous appuyons sur la notion de *commoning*, un nouveau concept de la littérature sur les communs (Albareda & Sison, 2020). C'est à l'historien marxiste américain Peter Linebaugh que l'on doit l'apparition de ce terme dans le livre *Magna Carta Manifesto: Liberties and Commons for all* paru en 2008. Le commun n'y est plus décrit comme une situation, mais comme une activité. Il se transforme en verbe : « *To speak of the commons as if it were a natural resource is misleading at best and dangerous at worst – the commons is an activity and, if anything, it expresses relationships in society that are inseparable from relations to nature. It might be better to keep the word as a verb, an activity, rather than as a noun, a substantive.* » (Linebaugh, 2008, p. 279). Le *commoning* a par la suite fait l'objet de nombreuses définitions. Ces différentes définitions décrivent le *commoning* comme un processus, expérimental et social, qui a la particularité d'être « messy », mais « inclusif » et « volontaire ». Toutes font référence à la communauté d'acteurs qui accompagne ce processus.

| Auteur | Page | Définition |
|---|------|--|
| Hollender, 2016 | 2/17 | « Le <i>commoning</i> est le processus d’expérimentation que les communautés de communs rencontrent lorsqu’elles construisent les formes organisationnelles, sociales, économiques, politiques et juridiques, qui rendent le partage d’un commun possible, faisant souvent émerger de nouvelles formes de gouvernances inclusives, autonomes et collectives. » |
| Gibson-Graham et al., 2016 | 20 | « <i>Commoning</i> is a messy and fragmented process in which transformation takes place with different rhythms over a long timeframe. » |
| Helfrich & Bollier, <i>in</i> Cornu, 2017 | 206 | « Le <i>commoning</i> est un processus social par lequel un groupe de gens – des pairs – s’organisent pour gérer des ressources communes, des savoirs, des espaces et autres domaines. » |
| | 222 | « Le <i>commoning</i> est un processus social qui réunit les gens afin de trouver des solutions à des problèmes communs. » |
| Euler, 2018 | 12 | « <i>Commoning</i> shall be described as voluntary and inclusively self-organized activities and mediation of peers who aim at satisfying needs. » |
| Albareda & Sison, 2020 | 731 | « <i>Commoning</i> refers to experimenting with new organizational designs to produce and distributed new commons, generating new labor divisions and allocations to support governance with collective action principles defined by the community members. » |

Tableau 18 Définitions du *commoning*

Les travaux sur le *commoning* portent presque exclusivement sur des cas empiriques à l’échelle locale. La notion est souvent mobilisée pour l’étude de communs urbains (Festa 2016), comme le centre social à Madrid que décrit Valérie Fournier (Fournier 2013), ou de communautés locales comme le groupe de pêcheurs en Écosse dépeint par Andrea Nightingale (Nightingale 2013). Même lorsque Meyer & Hudon étendent le *commoning* au concept de monnaie, donc à des communs immatériels, ils continuent d’étudier les communautés locales à l’origine de ces monnaies alternatives (Arjaliès 2020; Meyer, Hudon 2019). En effet, le concept de *commoning* semble se prêter davantage à des communs locaux, car il implique des individus – les

commoneurs –, plus précisément des communautés d’individus – les *commoning-communities* –, qui entretiennent une relation émotionnelle forte et personnelle avec la ressource qu’ils cherchent à défendre. Seul un article de Gibson-Graham et al. (2016) décrit l’émergence d’un *commoning* à une échelle globale. Il s’agit, selon les auteurs, d’un « *commoning* du soleil » apparu en Australie, à la suite de la fragilisation de la couche d’ozone : « *A community that is commoning the energy of the sun is being created. [...] This community is helping to share and widen access to solar power, and through the care of initiatives such as Solar Citizens and their campaign for a solar ombudsman to ensure that the “industry” operates in a well-managed and responsible way so that the benefits of solar power can be realised.* » (Gibson-Graham et al., 2016, p. 17).

En nous inscrivant dans le prolongement de cette réflexion, nous cherchons dans cette thèse à préciser et à définir ce que désigne un processus de *commoning* à l’échelle globale. En effet, certaines caractéristiques du cas des débris spatiaux montrent que certains éléments de la gestion de problèmes globaux se rapprochent de la notion de *commoning*. Quelles sont les caractéristiques d’un tel processus transposé à des problèmes globaux ? En quoi se distingue-t-il d’un *commoning* local, et en quoi s’en rapproche-t-il ? Afin de répondre à ces questions, la troisième partie de cette thèse s’appuie sur plusieurs éléments de la définition du *commoning* afin d’étudier leur transposition à l’échelle globale.

Le *commoning* global suppose d’abord l’existence de commoneurs globaux, des individus qui ont des profils et des parcours variés. La communauté qu’ils forment s’apparente à une communauté épistémique avec une culture commune (Cross, 2013 ; Haas, 1992). Toutefois, cette communauté de commoneurs globaux se distingue par la présence d’une forte dimension émotionnelle. Les individus qui la composent entretiennent des liens affectifs entre eux, mais également vis-à-vis du problème auxquels ils sont confrontés et dans la gestion duquel ils s’impliquent (1).

Le *commoning* global repose ensuite sur un système de régulation polycentrique, non pas centralisé mais distribué entre plusieurs centres de régulation (McGinnis, 2016 ; E. Ostrom, 2010). Ce système polycentrique est coordonné par la communauté de commoneurs globaux qui circulent entre les centres, se positionnant tantôt au premier ou à l’arrière-plan, parfois même en changeant d’identité institutionnelle (2).

Le *commoning* global implique également la production, par les commoneurs globaux, de la connaissance nécessaire à la gestion du problème (3). Cette connaissance prend plusieurs formes, permettant de décrire et de comprendre le phénomène, d’anticiper son évolution, de

définir les modalités d'action et de catégoriser le problème. Elle est donc orientée vers l'action, et étroitement liée au fonctionnement du système de régulation et à la mise en place d'un marché.

Enfin, le *commoning* global renvoie également à un processus de diffusion de la connaissance. Les commoneurs globaux sont chargés non seulement de produire de la connaissance sur le problème, mais également de diffuser la connaissance du problème à l'extérieur des frontières de leur communauté, à travers plusieurs mécanismes (nommer, montrer, expliquer) (4).

1. Une communauté épistémologique-affective de commoneurs globaux

Les *commoners*, terme que nous choisissons de traduire à l'instar de David Bollier par « commoneurs », constituent un des rouages essentiels du processus de *commoning*. Ils doivent être distingués des utilisateurs, qui consomment la ressource, et des contributeurs qui ne font que la produire (Bollier 2014). Les commoneurs sont impliqués dans l'émergence du commun et/ou dans son maintien et participent activement à la gestion de la ressource. Dans la littérature, ce terme peut être utilisé pour définir un type d'action : « *non-profit initiatives that pool resources and skills in order to make them available to the greatest number* » (Acquier et al., 2019, p. 12). Les commoneurs sont aussi désignés comme des « gens » (Cornu, Orsi, Rochfeld 2021), des « groupes locaux » (González-Hidalgo, Zografos 2020), des « pairs » (Euler 2018b). Ils et elles peuvent être par exemple « *programmateurs de logiciels, jardiniers urbains, peuples indigènes, chercheurs universitaires, petits paysans, artisans indiens du textile, usagers des bibliothèques et parcs publics, militants du mouvement Slow Food* » (Bollier, 2014, p. 41). Ils sont vus comme des citoyens ordinaires, voire comme des individus en bas de la pyramide sociale pouvant être des victimes des tentatives d'appropriation de la ressource par l'État ou le marché. C'est donc principalement par nécessité qu'ils s'engagent dans la construction ou la défense d'un commun : « *Pour nombre de ces acteurs, les communs ne sont pas un « système de gestion » ou un régime de gouvernance – ils sont un moyen de subsistance personnel, une identité culturelle, un mode de vie.* » (Bollier, 2014, p. 41).

Dans ce chapitre, on cherche à transposer la notion de *commoning* à l'échelle globale. Nous posons donc la question suivante : peut-il y avoir des *commoneurs globaux* ? Et si oui, qui sont-ils, quelles sont leurs caractéristiques, comment fonctionne la communauté qu'ils composent ? Dans un premier temps, nous présentons la communauté épistémologique hétérogène d'individus impliqués dans le problème des débris spatiaux (1), avant de souligner la forte dimension

émotionnelle de cette communauté, dont les membres entretiennent entre eux des liens sociaux étroits et un rapport affectif particulier avec le problème lui-même (2).

1.1. Une communauté épistémique hétérogène

Il est très vite apparu, au cours de nos entretiens, que le problème des débris spatiaux n’occupait qu’un nombre restreint de personnes qui formaient « un tout petit monde » :

« Ce que j’ai découvert dans le domaine des débris spatiaux, c’est que ce sont toujours les mêmes personnes ; et que ça représente une poignée d’individus. » [Expert agence]

« On se connaît tous. S’il y a une centaine de personnes actives dans ce domaine, c’est bien la mort. » [Expert firme]

Qui sont ces « mêmes personnes » ? Quel est leur profil et quels sont leurs points communs ? Le problème des débris spatiaux a déjà été abordé sous l’angle des communautés épistémiques par Miloslav Machon (Machon, 2015) et Aurélie Trur (Aurelie Trur 2021). Ces travaux cherchent à montrer l’importance et l’influence des communautés d’experts sur la gouvernance des débris spatiaux. Les deux auteurs tombent d’accord pour présenter la communauté des débris comme étant de nature pluri-épistémique. Selon eux, cette communauté se situe au croisement de groupes épistémiques préexistants, appartenant ou non au secteur spatial, et s’influçant mutuellement. On note toutefois que Machon et Trur ne définissent pas les frontières du pluri-épistémisme des débris spatiaux de la même manière. Pour Machon, les communautés sont structurées par des organisations scientifiques : l’IAF (International Astronautical Federation), le COSPAR (Committee On Space Research), l’IILS (International Institute on Space Law) et l’IADC (Inter-Agency Space Debris Committee), au sein desquelles a lieu un processus de professionnalisation (Cross, 2013). La thèse de Trur (2021b), en revanche, décrit une première communauté organisée autour du contrôle des armements (« Arms Control »), qui aurait précédé et permis l’émergence d’une communauté sur la mitigation des débris (« debris mitigation »), ayant elle-même favorisé la formation d’une communauté au sein du COPUOS (« Long-Term Sustainability »). Dans un article publié en 2021, Trur évoque même une quatrième communauté épistémique, dite « écologique » (Aurélie Trur 2021). La définition des frontières des communautés épistémiques qui composent la

communauté des débris spatiaux fait donc débat. Sans entrer dans cette discussion, nous nous appuyons sur ces premières études des communautés épistémiques pour décrire la communauté d'individus impliqués dans la gestion des débris spatiaux qu'a révélé l'analyse de notre matériau.

1.1.1. Une communauté qui partage une culture commune

Selon Maia Cross, une des caractéristiques des communautés épistémiques repose sur le partage d'une culture commune (Cross 2013). Plusieurs éléments renvoient à l'existence d'une culture commune autour des débris spatiaux. D'abord, il existe des références collectives partagées par les membres de cette communauté, comme par exemple certaines figures tutélaires telles que Donald Kessler, « scientifique parfait », « génial », « père des débris spatiaux » et dont les travaux constituent la pierre angulaire de la prise de conscience sur ce sujet. D'autres figures influentes reviennent souvent, notamment celle de Christophe Bonnal en France, présenté comme la « mémoire des débris spatiaux » par nos interlocuteurs.

On remarque aussi des rites, récurrents, comme les grandes conférences annuelles internationales présentées comme des événements sociaux majeurs. Ces grands rassemblements de milliers de personnes ou petits workshops de quelques dizaines d'experts, permettent aux acteurs de partager les dernières avancées techniques, juridiques ou commerciales, mais aussi de rencontrer des collègues et d'évoquer les sujets « dans l'air du temps ». Les conférences ont notamment la particularité d'accueillir des acteurs de plus en plus variés, non seulement des experts scientifiques spécialisés sur la question mais également des juristes, des représentants de firmes, des startups, d'associations, qui appartiennent tous à la même communauté :

« Sur beaucoup de sujets, on revoit les mêmes gens, les mêmes thèmes, les mêmes présentations. Le sujet est extrêmement dynamique en ce moment. Beaucoup de gens réfléchissent. » [Ingénieur, firme].

| Nom | Organisateur | Lieu | Fréquence | Lancement |
|--|--------------|-----------|---------------------|-----------|
| International Astronautical Congress | IAC | Variable | 1 an | 1950 |
| Space Debris Re-entry workshop | ESA/ESOC | Darmstadt | irrégulier | 1983 |
| European Conference on Space Debris | ESA | Darmstadt | 4 ans | 1993 |
| International Association for the Advancement of Space Safety Conference | IAASS | Variable | 2 ans | 2000 |
| International workshop on space debris modelling and remediation | CNES | Paris | 3 WS tous les 2 ans | 2009 (?) |
| Clean Space Industry Days | ESA/ESTEC | Leiden | 1 an | 2016 (?) |
| ESA-ECSL Space Debris Regulation, Standards, and Tools Workshop | ESA/ESOC | Darmstadt | - | 2019 |
| NEO and Debris Detection Conference | ESA | Darmstadt | - | 2019 |
| International Orbital Debris Conference (IOC) | NASA | Houston | 4 ans | 2019 |

Tableau 19 Principales conférences et workshops sur les débris spatiaux

Enfin, cette communauté est également traversée par des tabous. Le premier d’entre eux concerne les controverses. Comme la communauté est encore en construction et qu’elle est à la recherche de sa légitimité, il semble essentiel pour ses membres de rester soudés :

« The space community in general is very small, insular. So, we don’t want to burn any bridges! There is a lot of people knowing each other, a lot of good people, but we could do more to look outside. ». [Expert association à but non-lucratif]

D’autres interlocuteurs se montrent plus critiques :

« Là, il y a une tendance à une sorte d’alignement. Tout le monde se dit à peu près la même chose et se suit comme des moutons. Celui qui ose dire une idée qui n’est pas dans le courant peut être exclu. C’est une petite communauté. Les gens cherchent à y rester. Et pour ça, il faut à peu près penser la même chose que les autres. Le discours dominant est le suivant : “Il faut sauver l’environnement orbital, c’est irréversible, ça va être comme dans Gravity, c’est la fin des haricots.” C’est comme ça qu’on crée un problème et une situation catastrophique. Je me considère comme un esprit contestataire. Je ne pense pas toujours comme tout le monde. Dans les positions que je défends, il arrive que je sois plus critique que mes collègues scientifiques. » [Expert agence]

Un autre tabou touche aux puissants acteurs du New Space qui pour l’instant ne sont pas impliqués activement dans cette communauté. On remarque que leur nom n’est parfois même pas prononcé au cours de l’entretien :

« OneWeb is a great model for sustainable space. The topic always had voices in the background. We have been talking with them for a couple of years to make sure that their satellites were prepared. But no, it was not something that was on top of their minds [...] Today they are thinking much more on sustainability. Other companies, not so much... [rire]. We are not going to say who! [rire]. » [Membre startup]

La communauté des débris spatiaux comporte donc une dimension épistémique et partage une culture commune, à travers des références collectives, des événements récurrents et la présence de tabous. Pour autant, cette communauté n’est pas homogène. Elle est composée d’individus aux profils variés, qui ne sont pas toujours étiquetés comme des experts scientifiques.

1.1.2. Une communauté hétérogène d’individus

Une première forme de diversité porte sur la dimension générationnelle. Les personnes que nous avons rencontrées au sein des agences comme dans les grandes firmes du spatial travaillent sur le sujet depuis parfois des décennies. Cependant, cette thématique attire également une nouvelle génération, plus jeune, sensibilisée aux questions de durabilité.

« Dans l'industrie, c'est un changement de mentalité, chez les jeunes surtout qui voient les débris comme une partie de la mission. Ils ont pris conscience. » [Expert agence]

« J'ai eu une réunion avec des vieux Russes avec les traducteurs, et des jeunes. La réponse officielle donnée par les vieux était : de toute façon, ça va retomber. Puis, le soir, à l'hôtel, les jeunes Russes qui parlaient anglais, nous ont dit : envoyez-nous vos slides, on n'est pas d'accord avec les vieux, on va en parler aux industriels. La réaction des jeunes Russes était la même que celle des jeunes Européens. » [Expert agence]

D'ailleurs, la problématique des débris spatiaux est souvent traitée par des stagiaires ou des étudiants au sein de petites structures. Les représentants de cette nouvelle génération nous ont été présentés par certains ingénieurs de firmes comme les « hippies des débris » :

« Dans certaines discussions, les jeunes de [l'agence spatiale], des hippies sur le sujet, ont émis des positions un peu extrêmes, très critiques sur les industriels qui font n'importe quoi, en expliquant qu'on devait limiter les missions spatiales. Les régulateurs expérimentés comprennent mieux la dualité du problème. Là, on cherche des solutions raisonnables, des choses que l'activité n'avait pas en tête. Le risque de collision, le risque humain, sont des choses nouvelles. » [Ingénieur firme]

On constate que cette diversité générationnelle provoque différentes réactions. Si certains semblent s'en réjouir, voyant cette progression comme un signe de l'évolution du problème, d'autres constatent l'apparition de divergences de points de vue sur les moyens nécessaires à mettre en place.

Les membres de la communauté sont également issus de disciplines et d'organisations parfois très différentes. Si les scientifiques et les ingénieurs sont majoritaires, on note également la présence de spécialistes de la politique industrielle, de juristes, de spécialistes de l'environnement et d'économistes. Ces individus peuvent être membres aussi bien d'agences spatiales que de firmes, de startups, de délégations de diplomates, d'organismes internationaux, etc. De plus, nombre de nos interlocuteurs nous ont décrit une trajectoire professionnelle qui, loin d'être linéaire, avait conjugué des expériences dans plusieurs types d'organisations. Ainsi, on croise au sein de l'équipe de direction d'une startup spécialisée dans les débris spatiaux des

anciens experts d'agences spatiales reconvertis. Des ingénieurs experts du sujet, qui ont travaillé toute leur carrière dans une firme du spatial, nous ont demandé lors de l'entretien de les présenter comme des chercheurs, se sentant davantage appartenir à l'univers académique. Les représentants diplomatiques chargés d'animer le COPUOS ont souvent travaillé en tant qu'experts pour des agences spatiales. Ces trajectoires non-linéaires permettent aux individus d'acquérir une vision assez synoptique des enjeux du problème :

« L'avantage est qu'on fonctionne bien, ça permet de faire de la veille, d'avoir une vision plus globale, de faire de la coordination. J'ai eu plusieurs postes, j'ai cette compétence plus large. » [Expert agence]

Les membres de la communauté des débris spatiaux ont donc des profils variés et appartiennent à des catégories d'acteurs différentes. Ces personnes se présentent comme une « *small community with common goals* » ([Expert agence]). Si on a pu constater la dimension épistémique qui caractérise la communauté des débris spatiaux, nos entretiens ont révélé que les membres de cette communauté partageaient également un lien émotionnel fort, d'abord entre eux, mais également vis-à-vis du problème auquel ils sont confrontés.

1.2. Une communauté à dimension affective

Dans ses travaux, Ostrom critique la vision d'individus rationnels agissant dans leur seul intérêt personnel. Cependant, elle ne remet pas fondamentalement en question la théorie de l'acteur rationnel, comme tentent de le faire les chercheurs du *commoning* pour qui ce processus doit tenir compte des dimensions culturelles, subjectives, personnelles (Bresnihan, 2015) (Bresnihan 2016; Nayak, Berkes 2021; Singh 2017). En effet, le *commoning* se caractérise notamment par la réintroduction de l'affect et de l'émotion (Bollier, Helfrich 2015), qui se révèlent dans la relation des commoneurs au commun, relation qui ne serait « *pas nécessairement d'origine intellectuelle ou scientifique* », mais « *d'ordre personnel et passionnel* » (Bollier, 2014, p. 41). Par exemple, les communautés de pêcheurs écossais décrites par Andrea Nightingale (2013) entretiennent des liens émotionnels forts avec la mer. Le contexte social et culturel revêt donc une importance majeure et cette relation affective peut même devenir une condition du succès du processus de *commoning*. Plus fort sera l'attachement entre le commoneur et la ressource, plus forte sera son implication dans le commun. Notons

que l'émotion n'est pas toujours synonyme de bonne gestion puisque des communautés attachées émotionnellement à une ressource peuvent aussi la surexploiter. Quelle est la relation des membres de la communauté des débris spatiaux au problème qui les concerne ?

1.1.3. Des liens émotionnels entre les membres de la communauté

On constate d'abord la présence de liens personnels forts entre les membres de la communauté, qui se décrivent parfois comme des « familles », à l'instar des experts juridiques spécialisés sur la question qui ont pour la plupart été formés ensemble avant de se disperser dans des firmes ou des agences spatiales, se connaissent donc très bien et partagent une même perspective sur leur métier :

« On a formé des étudiants de 68 pays. On retrouve les anciens dans les délégations de l'ONU ou dans les agences spatiales. [...] C'est une famille. On s'appelle, on fait des trucs ensemble. On fait des colloques [...] C'est une famille parce que c'est un petit milieu et parce qu'on a créé cet esprit de club, de famille. » [Expert juridique]

Un même individu peut avoir noué des relations avec plusieurs communautés professionnelles au cours de son parcours. Certains ont été voisins de bureau pendant des années, d'autres ont suivi les mêmes parcours d'études. Parfois, ces liens dépassent la sphère professionnelle. Des interlocuteurs ont désigné leurs collègues comme des amis de longue date. Pour d'autres, les débris spatiaux peuvent même devenir une affaire de famille. Nous avons rencontré des binômes parents/enfants (*« Ma fille a bossé à [agence spatiale] pendant deux ans donc elle connaît tout le monde là-bas. »* [Ingénieur, firme]) ainsi que des couples qui travaillaient dans ce secteur.

1.1.4. Un lien affectif avec le problème des débris spatiaux

Le problème des débris spatiaux ne constitue pas une menace directe pour la survie de l'humanité. Il menace encore moins directement les individus qui sont experts du problème ou impliqués dans sa gestion. Contrairement aux astronautes, que l'on pourrait considérer comme directement aux prises avec les débris, les membres de la communauté des débris spatiaux que nous décrivons depuis le début de cette partie ne sont pas personnellement concernés ni

menacés par le problème. Ce dernier s'avère d'ailleurs particulièrement abstrait, l'espace extra-atmosphérique se situant à des centaines de kilomètres de la surface du globe. Or, l'analyse de notre matériau a révélé la présence d'émotions dans le discours des acteurs, qui parlent de leur rapport au problème, de leur réaction face au comportement d'autres acteurs ou à la manière dont la question est gérée. D'abord, nous nous sommes aperçus que les personnes que nous rencontrions se disaient passionnées par le sujet que nous évoquions :

« L'espace durable est quelque chose d'extrêmement important qui m'a passionné depuis 2017 au point de prendre position sur la sphère internationale. » [Ingénieur firme].

« I fell in love with the problem. It's not a purely technical problem, it's science, politics, economics, and it's exciting to see if we can find a reasonable solution. » [Expert agence]

Ce sentiment peut être utilisé pour justifier l'orientation professionnelle (j'ai choisi cette voie parce que le problème me passionne), mais aussi pour expliquer le fait d'aller au-delà de son périmètre professionnel. Parmi les sentiments positifs, des interlocuteurs ont également évoqué le sentiment de fierté ressenti lors d'une avancée réglementaire :

« La politisation à Vienne [COPUOS] est un peu désespérante, mais mon travail est de voir comment mettre les gens d'accord. Quand on y arrive, on se rend compte du travail et quelque part, on est très, très heureux. » [Membre délégation COPUOS]

À l'inverse, on observe également des sentiments négatifs très forts. Il peut s'agir d'un sentiment de peur ou d'appréhension lié à l'évolution du problème :

« I was optimistic until I started to hear about mega constellation. The numbers are dramatic. No matter how reliable are your satellites. I became from being easily relaxed 5-10 years ago to less relaxed today. The numbers involved in this is troubling. [...] I got really concerned with all of that. Nobody is in a position to say "hold on", and we have to think it through. We have the hope that we are now going to have to pay the price. » [Membre ISO]

« Aujourd’hui, on a vraiment peur pour demain à cause des méga-constellations et des Cubesats. » [Expert agence]

La peur porte sur la manière dont le problème peut évoluer, de manière éventuellement irréversible. On a d’autres exemples dans lesquels l’émotion provient non pas du problème lui-même ni de sa gravité, mais du comportement d’autres acteurs à son égard.

« J’en ai ras le bol de la partie commerciale. On est bien plus avancé que pour le climat. Ceux qui ne veulent pas faire, c’est en raison de la concurrence. » [Expert agence]

Ainsi, on perçoit une forme de colère, d’agacement vis-à-vis des acteurs privés. L’émotion peut également provenir de prises de position divergentes entre experts :

« [Un expert] devient rouge de colère quand je le dis, mais l’IADC ne sort plus rien de fort. » [Ingénieur firme]

Un sentiment de frustration, voire d’exaspération, semble également très répandu lorsque les interlocuteurs évoquent le fonctionnement de certains forums de régulation, considérés comme trop lents ou inefficaces :

« Donc, aujourd’hui, il y a des guidelines, des chiffres, pfff, de toute façon on ne les respecte pas, mais ce serait bien de les respecter. Mais même si on les respectait, ce ne serait pas suffisant pour avoir une stabilisation de la population [de débris]. » [Expert agence]

Notons que ces émotions semblent même pouvoir se mélanger :

« Ça nous fait rire ou ça nous inquiète quand on nous promet un marché de la SSA [Space Situational Awareness] à plusieurs milliards. » [Membre armée]

S’impliquer dans la défense des débris spatiaux devient quelque chose qui relève de la morale, du sens civique. De la même manière que l’on ramasse ses débris après un pique-nique dans

la nature, il devrait sembler normal de nettoyer après son passage dans l'espace (image employée par un des acteurs interrogés). Les interlocuteurs sont nombreux à évoquer cette dimension citoyenne, civique, pour expliquer leur implication dans le problème. Il ne s'agit plus seulement de traiter d'un sujet intéressant, mais de défendre une cause auprès d'une hiérarchie réticente, de la communauté spatiale ou, plus généralement, du grand public. Les individus se sentent personnellement investis dans la gestion de ce problème.

Le problème des débris spatiaux a suscité l'émergence d'une communauté pluri-épistémique (Machon, 2015, Trur, 2021). Ses membres sont non seulement des experts scientifiques, mais ont également des profils plus variés. Ils et elles se rencontrent régulièrement, partageant des références communes et des tabous. De plus, on constate l'existence, au sein de cette communauté, d'une forte dimension affective, aussi bien entre les membres qui entretiennent des liens sociaux étroits, que vis-à-vis du problème auquel ils sont confrontés. En cela, on peut les qualifier de commoneurs globaux.

2. Un système polycentrique de production de règles

La littérature décrit les commoneurs comme participant activement au processus de régulation. Dans son *Dictionnaire des biens communs*, Marie Cornu et ses collègues précisent : « *La spécificité du commoneur est qu'il contribue à la production de règles et de mécanismes relevant de l'ordre juridique, qui permettent d'activer les communs et de les rendre pérennes dans le contexte où ils s'inscrivent.* » (Cornu et al., 2021, p. 221). Cette dimension est facilement observable à l'échelle locale, niveau dans lequel les commoneurs peuvent facilement s'impliquer dans la production de règles communes. Mais comment cette caractéristique se traduit-elle à l'échelle globale ? Ce chapitre vise à comprendre comment les commoneurs globaux prennent part au processus de régulation dans un contexte global.

Nous avons montré au Chapitre 3 de cette thèse que les règles portant sur les débris spatiaux n'étaient pas produites à partir d'une mais de plusieurs sources de régulation, et plus particulièrement à partir de différents forums. Ce fonctionnement renvoie à la notion de polycentrisme (McGinnis 2016; Ostrom 2010), qui décrit un système global dans lequel les règles sont produites par différentes sources. Nous présentons d'abord la notion de polycentrisme (1). Ensuite, nous analysons la manière dont ce système est géré. Chaque forum

de régulation comporte un premier et un arrière-plan où se positionnent des observateurs (2). Les commoneurs globaux, ces individus qui composent la communauté d'experts des débris spatiaux, jouent également un rôle central dans la coordination du système polycentrique, au sein duquel ils se déplacent, parfois sous des étiquettes institutionnelles différentes (3).

2.1. Introduction à la notion de polycentrisme

En 1961, à l'occasion d'une étude, à l'époque peu remarquée, sur la gestion de ressources communes dans les zones métropolitaines aux États-Unis, un groupe d'économistes américains montre qu'il existe des systèmes de régulation dans lesquels la production de règles n'est pas centralisée par une autorité unique mais provient de plusieurs centres, dont l'autorité porte sur des zones géographiques différentes (Ostrom, Tiebout, Warren 1961). Ils proposent de désigner ce phénomène par le terme de polycentrisme : « *Polycentric* » *connotes many centers of decision making that are formally independent of each other. [...] To the extent that they take each other into account in competitive relationships, enter into various contractual and cooperative undertakings, or have recourse to central mechanisms to resolve conflicts, the various political jurisdictions in a metropolitan area may function in a coherent manner with consistent and predictable patterns of interacting behavior. To the extent that this is so, they may be said to function as a 'system'.* » (Ostrom et al., 1961, p. 831). Vincent Ostrom est l'époux d'Elinor Ostrom avec laquelle il fonde quelques années plus tard l'École de Bloomington, dont les travaux continueront développer la notion de polycentrisme, reprise et approfondie par Elinor Ostrom elle-même dans un ouvrage de 2005 : « *By polycentric I mean a system where citizens are able to organize not just one but multiple governing authorities at differing scales (see V. Ostrom, Tiebout, and Warren 1961; V. Ostrom 1997, 1999). Each unit exercises considerable independence to make and enforce rules within a circumscribed domain of authority for a specified geographical area. In a polycentric system, some units are general-purpose governments while others may be highly specialized. Self-organized resource governance systems in such a system may be special districts, private associations, or parts of a local government.* » (E. Ostrom, 2009, p. 283).

Le polycentrisme constitue un idéal-type de gouvernance, permettant une gestion plus juste et plus démocratique d'une ressource. Mais il est aussi envisagé comme un mode de gouvernance ayant des effets pratiques, concrets, sur les acteurs qui le composent. Dans un article de 2016, Michael D. McGinnis, un membre de l'École de Bloomington, propose une nouvelle définition

plus théorique du polycentrisme : « *A polycentric system of governance consists of (1) multiple centers of decision-making authority with overlapping jurisdictions (2) which interact through a process of mutual adjustment during which they frequently establish new formal collaborations or informal commitments, and (3) their interactions generate a regularized pattern of overarching social order which captures efficiencies of scale at all levels of aggregation, including providing a secure foundation for democratic self-governance.* » (McGinnis, 2016, p. 5). McGinnis insiste sur la diversité des configurations des forums de régulation, qui peuvent être formels ou informels, voire même latents, produisant des normes plus ou moins contraignantes. La diversité touche aussi aux acteurs qui composent ces forums. Ceux-ci ne forment pas toujours des groupes homogènes. Ils ne disposent pas tous du même pouvoir ni ne jouent le même rôle dans l'organisation du système. Ils ne participent pas tous pour les mêmes raisons, ne visent pas les mêmes objectifs stratégiques, qu'ils ne révèlent d'ailleurs pas toujours de manière explicite. De plus, le contexte doit également être pris en compte. Des acteurs divers et géographiquement dispersés auront plus de mal à s'organiser que des communautés regroupées localement. Ajoutant à cette complexité, les centres de décision peuvent se recouper : « *A decision unit, defined as above, has jurisdiction over a range of collective decisions concerning the rules, norms, etc., that govern the use of particular resources that are held to be binding on the members of a definable group. This gives us the opportunity to specify that two jurisdictions overlap when they share some of the same people, resources, or institutions in common.* » (McGinnis, 2016, p. 7). Ce chevauchement est organisé grâce à un processus d'ajustement mutuel qui permet les interactions entre les groupes d'acteurs et les unités de décision. Il faut préciser que ce processus d'ajustement mutuel ne doit pas mener à la formation d'un système homogène qui gommerait les différences culturelles et idéologiques entre les groupes. Au contraire, le maintien de la diversité institutionnelle est une condition même de son existence car elle permet aux acteurs moins puissants d'avoir voix au chapitre. Les systèmes polycentriques ont donc plutôt tendance à évoluer en se complexifiant : « *In an endless process, new institutional arrangements will be added to an increasingly complex system, even if rarely used arrangements drop from the collective memory of the members of that society.* » (McGinnis, 2016, p. 17). Le polycentrisme désigne une dynamique, traversée de relations de pouvoir, d'échanges et de règles sociales entre les acteurs (Aligica, Tarko 2012). Le concept de polycentrisme a été mobilisé par d'autres champs disciplinaires comme le droit (Black 2005; 2008), la gouvernance environnementale et l'écologie politique (Heikkila, Villamayor-Tomas, Garrick 2018; Morrison et al. 2017; Thiel 2017). Ces travaux s'intéressent

particulièrement aux différentes structures de polycentrisme. Berardo & Lubell (2016), par exemple, distinguent plusieurs schémas de participation des parties prenantes. Les acteurs peuvent choisir de partager les centres de décision (processus de *bridging*) ou se retrouver dans un seul centre de décision (processus de *bonding*). Un même système polycentrique peut rassembler plusieurs types de structures : « *For the most part, when public administration and policy scholars and practitioners examine decision-making processes, they usually focus on understanding relationships among policy stakeholders in relatively confined decision-making arenas, such as congressional committees, planning councils, or collaborative partnerships. We argue that a true understanding of how policy decisions are made requires a systems-scale analysis that accounts for the large number of forums in which actors interact with each other and the processes that drive decisions about where and how to participate.* » (Berardo & Lubell, 2016, p. 749). Il existe donc plusieurs structures de systèmes polycentriques, certains pouvant être différemment articulés en fonction des situations et des formes d'interaction entre les acteurs (Galaz et al. 2012).

Aborder le polycentrisme sous l'angle de la gestion implique d'abord de réfléchir à la coordination des acteurs et des centres. Cette coordination est la condition d'existence du système polycentrique, mais également son plus grand défi (Black, 2008, p. 140). Comment les acteurs réussissent-ils à articuler les activités des centres, en maintenant leur indépendance et sans compromettre la cohérence globale ? Autrement dit, comment gère-t-on un système polycentrique ?

2.2. Des forums articulés entre un premier plan (*foreground*) et un arrière-plan (*background*)

Chaque forum de régulation est géré par une catégorie d'acteurs. Les délégations des pays membres sont à la manœuvre au COPUOS, alors que l'IADC est gérée par les agences spatiales. Les coalitions rassemblent des acteurs non-étatiques, principalement privés. L'ISO forme un ensemble plus hybride, dont les membres officiels sont les agences nationales de normalisation mais dont les délégations comportent des acteurs très variés, agences, acteurs privés, etc. Néanmoins, chaque forum de régulation comporte également des observateurs. Ces observateurs peuvent être officiellement reconnus comme tels. L'ISO, par exemple, a un

membre observateur officiel au sein du COPUOS depuis 2018¹⁹. Ils peuvent également être présents de manière non officielle. Ils peuvent participer aux discussions, activement, ou rester passifs. Deux exemples permettent d'illustrer ce phénomène.

L'ESA, l'agence spatiale européenne, n'est rattachée à aucun État. De ce fait, elle joue souvent un rôle d'observateur actif et officiel dans plusieurs forums de régulation comme le COPUOS et l'ISO :

« We are an observer [at COPUOS]; we contribute a lot to that. We are not a state, but an active observer. We have been accompanying the process as experts. » [Expert agence]

Elle joue également un rôle plus discret au sein de coalitions d'acteurs privés, comme la Space Safety Coalition et le consortium CONFERS, qui ont fait appel à ses experts pour les aider à élaborer leurs best practices.

D'autre part, la startup japonaise Astroscale se revendique comme un entrepreneur institutionnel sur le sujet des débris spatiaux. En tant qu'acteur privé, Astroscale est officiellement membre, au premier plan, de plusieurs coalitions d'acteurs privés. Mais elle est également présente, en tant qu'observateur (arrière-plan), dans des forums ouverts comme le COPUOS et l'ISO, et même dans des forums a priori fermés, comme l'IADC. Son déploiement au sein du système polycentrique fait partie intégrante de sa stratégie :

« From the policy side we are working with these four big picture groups: domestic governments, international organizations, academia and industrials. (...) So all of that right now is absolutely not coordinated. There is overlap nearly in every part. We have a representative, we have a voice in all of those groups and different people have voices in different parts of that, but a fully coordinated body saying “ok here is what we are hearing and here is what is going to come out of this...tadam... This is the globally recognized best practice...” it's really hard and it does not happen. » [Membre startup]

Le système polycentrique semble donc d'abord coordonné par l'existence, au sein de chaque forum, d'un premier plan (*foreground*) avec les organisateurs officiels et d'un arrière-plan

¹⁹ <https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/copuos/members/copuos-observers.html>

(background), sur lequel se positionnent plus ou moins officiellement des groupes d'observateurs. On peut faire une distinction plus poussée entre les observateurs actifs, qui participent à la discussion, et les observateurs passifs, présents pour assister à la conversation sans pouvoir ou vouloir intervenir.

La présence d'autres acteurs en arrière-plan met en évidence une forme de « bridging » dans le système de régulation des débris au sens de Berardo & Lubell (2016). Les mêmes acteurs se rencontrent successivement dans plusieurs forums pour discuter du problème et produire des règles. Ils y sont positionnés dans des configurations différentes, avec des relations de pouvoir qui peuvent s'inverser d'un forum à un autre, permettant ainsi à toutes les voix de s'exprimer. Ce phénomène rappelle le principe d'hétérarchie de Crumley : « *The relation of elements to one another when they are unranked, or when they possess the potential for being ranked in a number of different ways, depending on systemic requirements.* » (Crumley, 1979, p. 144, cité in Dumez & Renou, 2020).

2.3. Le rôle des commoneurs dans la gestion du système polycentrique

Nous avons observé que les acteurs se retrouvaient dans les différents forums, tantôt positionnés au premier plan, tantôt à l'arrière-plan. Au cours de notre enquête, nous nous sommes rendu compte que ces acteurs (les agences spatiales, les firmes, les startups, les États) étaient le plus souvent représentés par les mêmes individus. Une même personne, par exemple, experte de la question des débris spatiaux au sein de son agence spatiale, participe aux travaux de l'IADC auprès de ses pairs, est désignée comme représentant au sein du comité ISO et sera envoyée comme soutien aux diplomates de sa délégation nationale au COPUOS. Cette même personne pourrait aussi être sollicitée pour donner son avis d'expert par des coalitions privées.

« Je suis le représentant de [agence spatiale 1] au sein de [agence spatiale 2], également auprès de l'UE (relations avec la commission européenne), au COPUOS, à l'IADC et dans pleins d'autres forums associés à ce sujet. Je suis [...] responsable de la stratégie, je définis les positions dans toutes les enceintes internationales. Le premier cercle est l'UE ; ensuite on a les Nations Unies, IAF, IADC, et, bien sûr, les relations avec les USA. Je m'appuie sur les équipes techniques de certains domaines. » [Expert agence]

Ce phénomène doit être souligné, car il joue un rôle important dans la coordination du système. Il tient certainement à la taille de la communauté scientifique. On a vu que la communauté des débris spatiaux ne comptait qu'un nombre restreint d'experts. Il semble donc inévitable que les mêmes soient sollicités pour se rendre dans les différents forums, pour faire avancer la recherche, pour assister les délégations ou pour fournir une expertise technique. Ainsi, on s'aperçoit que les individus impliqués dans la gestion du système polycentrique appartiennent à la même communauté, décrite précédemment :

« Most of the people are in ISO and IADC know each other. It's a self-organizing thing we have there. We go to the coffee break and we have a lot of informal discussions in which we have a lot of information and direction. It's by the nature of the people we are, and our network. We bring inside what has been published in the conferences, in article, we think of integrating things. We look at the existing knowledge based that is expanding. » [Membre sous-comité ISO]

Les relations entre les forums, par exemple entre l'ISO et l'IADC qui viennent d'être mentionnés, sont qualifiées de « fortes, mais informelles ». Les rapports individuels jouent donc un rôle central dans la coordination du système polycentrique.

Dans le cas que nous venons de décrire, l'expert d'agence spatiale se déplace de forums en forums, sans changer d'identité professionnelle. Qu'importe le forum dans lequel il se trouve, qu'il soit en position d'observateur ou de participant actif, il ou elle conserve son identité institutionnelle d'origine, en continuant par exemple de représenter l'agence spatiale pour laquelle il ou elle travaille. Cependant, un autre phénomène est apparu au cours de nos entretiens. Certains individus semblent combiner plusieurs rôles au sein du système polycentrique. Un expert d'agence spatiale explique :

« Les mêmes personnes se retrouvent dans les différentes instances, comme moi, "with different hats". » [Expert agence]

En analysant les présentations officielles au COPUOS, nous nous sommes en effet aperçus que la personne en charge de présenter les avancées de l'ISO était également un membre fondateur de la Space Safety Coalition. De la même manière, la personne présentant les résultats de CONFERS, un consortium d'industriels rassemblés autour de la sécurité des activités spatiales,

est également à la tête d'une association non-étatique de recherche (Secure World Foundation). Non seulement les forums ne sont pas indépendants les uns des autres puisqu'ils s'articulent entre un premier et un arrière-plan, non seulement les individus qui représentent les institutions se connaissent très bien et circulent entre les forums, mais les mêmes individus incarnent parfois plusieurs rôles institutionnels. Ce phénomène est particulièrement intéressant à confronter à la littérature sur le polycentrisme dont l'analyse est positionnée principalement au niveau des rôles institutionnels. Paul Aligica et Vlad Tarko, « *when we are talking about the members of a polycentric system, we are talking not so much about the flesh and blood individuals but about institutional roles within that system (i.e, about the institutional rules consisting of a bundle of rights and obligations attached to an individual). This is noteworthy because the same individual may be acting in different circumstances and at different moments in time, as part of different polycentric systems.* » (Aligica & Tarko, 2012, p. 255). Si notre cas confirme l'importance des rôles institutionnels des acteurs dans le polycentrisme, il montre aussi l'importance d'analyser les acteurs « en chair et en os », indépendamment de leur rôle institutionnel. La communauté de commoneurs globaux semble donc jouer un rôle central dans la gestion du système polycentrique.

Le *commoning* global implique la mise en place d'un système de régulation polycentrique, les règles étant produites non pas de manière centralisée mais par une multitude de centres de régulation variés. La coordination entre ces centres est assurée de plusieurs manières.

D'abord, on distingue au sein de chacun de ces forums un premier plan et un arrière-plan où se positionnent des acteurs qui jouent le rôle d'observateurs. Les centres ne fonctionnent pas indépendamment les uns des autres mais l'information circule entre eux. Par ailleurs, la communauté de commoneurs globaux, décrite dans le chapitre précédent, participe fortement de cette coordination. En effet, les individus qui représentent les organisations ou les institutions se connaissent bien et entretiennent des relations informelles entre les forums, parmi lesquels ils circulent, tantôt au premier plan et tantôt à l'arrière-plan, pouvant même jouer plusieurs rôles institutionnels à la fois.

3. Un processus de production collective de la connaissance

La principale activité des communautés épistémiques est de produire de la connaissance (Haas 1992). Nous avons rappelé la relation "symbiotique" qu'entretenait, selon Charlotte Hess, la connaissance avec les communs globaux (Coriat 2015). Les commoneurs globaux participant à la gestion du système polycentrique et à la production de règles, on peut faire l'hypothèse qu'ils jouent également un rôle central dans la production des connaissances. Cette partie vise à décrire le processus de production de connaissance dans le cas des débris spatiaux, en définissant sa nature et son rôle. L'analyse d'une conférence internationale permet de distinguer quatre grands types de connaissances (3.1), toujours orientées vers le comportement des acteurs (3.2).

3.1. Une typologie de la connaissance produite sur les débris spatiaux

Pour analyser la nature de la connaissance produite sur les débris spatiaux, nous avons choisi de partir d'un lieu essentiel à la production et à la circulation de cette connaissance : une conférence internationale. Cet évènement, central dans la vie d'une communauté scientifique, nous semble pouvoir refléter l'état de la production de connaissances et son évolution. En effet, une conférence est un lieu de rencontre entre différents acteurs, représentant différentes organisations, qui y apportent leur propre vision du sujet. C'est également l'endroit où le savoir se donne à voir et où il se diffuse, mais aussi où peuvent se cristalliser des controverses.

Il existe de nombreux workshops, conférences internationales ou congrès sur la question des débris, mais nous avons choisi de nous concentrer sur la European Space Debris Conference organisée par l'ESA. Cette conférence a été mentionnée de manière récurrente au cours des entretiens, nos interlocuteurs soulignant son importance au sein de la communauté scientifique. Elle a lieu tous les quatre ans à Darmstadt depuis 1993, date à laquelle a été créée l'IADC et a débuté l'institutionnalisation du problème des débris spatiaux, à laquelle elle a participé. Comme nous l'explique un expert d'agence spatiale, « *au début, c'était un petit club privé, aujourd'hui c'est plein comme un œuf. C'est devenu un très gros congrès.* » [Expert agence]. Depuis la première édition, le nombre de participants et le nombre de pays représentés ont presque triplé, avec une nette évolution entre les éditions de 2005 et 2009, qui correspond certainement aux deux accidents majeurs ayant eu lieu en orbite en 2007 et 2009, ainsi qu'à l'adoption des premières guidelines du COPUOS en 2007.

| Conférence | Date | Nombre de participants | Nombre de pays |
|--------------------------------------|------|------------------------|----------------|
| 1st European Space Debris Conference | 1993 | 200 | 17 |
| 2nd European Space Debris Conference | 1997 | 200 | ND |
| 3rd European Space Debris Conference | 2001 | ND | ND |
| 4th European Space Debris Conference | 2005 | 200 | ND |
| 5th European Space Debris Conference | 2009 | 330 | 21 |
| 6th European Space Debris Conference | 2013 | 355 | 26 |
| 7th European Space Debris Conference | 2017 | 350 | ND |
| 8th European Space Debris Conference | 2021 | 570 | 50 |

Tableau 20 Évolution de la participation à la European Space Debris Conference

Grâce à un site de l’ESA recensant tous les actes de la conférence depuis sa création²⁰ et à l’aide des équipes de l’ESA qui nous ont donné accès aux listes de participants, nous avons pu rassembler les programmes de la plupart des éditions de la conférence, les caractéristiques des participants, et surtout la liste de toutes les communications scientifiques, ainsi que des comptes-rendus publiés sous formes d’articles scientifiques ou de *key findings*²¹ à l’issue des conférences. À partir de ces données, nous proposons une analyse des différents types de connaissances produites sur les débris spatiaux.

L’analyse des programmes des différentes éditions de la conférence permet de faire apparaître plusieurs thèmes récurrents. Dès la première édition de la conférence, il s’agit de réfléchir à la surveillance de l’espace en effectuant des mesures, de modéliser l’évolution de l’environnement spatial, d’étudier les mécanismes d’impact en orbite et la possible protection des satellites, d’imaginer des méthodes de mitigation (empêcher la production de nouveaux débris) et de remédiation (nettoyer les débris existants). Toutes les éditions de la conférence comportent également un volet sur la standardisation. Ces thèmes de recherche ont persisté au fil du temps. L’IOC, la nouvelle conférence sur les débris lancée par la NASA en 2019, est organisée autour

²⁰ <https://conference.sdo.esoc.esa.int/>

²¹ Key findings des 4e et 5e conférences :

https://www.esa.int/Enabling_Support/Operations/Fourth_European_Conference_on_Space_Debris_to_address_key_issues

https://www.esa.int/Enabling_Support/Operations/Key_findings_from_the_5th_European_Conference_on_Space_Debris

de thématiques similaires. On y retrouve les mesures, la modélisation, le soutien aux opérations et aux missions, et la gestion de l'environnement qui couvre la mitigation et la remédiation.

On pourrait se demander si ces thèmes sont propres au problème des débris, ou s'ils renvoient à une manière de catégoriser la connaissance produite sur ce type de problème global. Appuyons-nous une nouvelle fois sur le cas de la pollution plastique. Le problème fait également l'objet de mesures : il s'agit d'estimer le volume de déchets présents dans les océans, leur emplacement, par exemple l'effet de concentration dans des gyres océaniques, et la manière dont ils se déplacent. À l'occasion d'une étude sur les plastiques en Seine, une expérimentation a été réalisée avec des balises pour suivre la trajectoire des objets dans le fleuve, du haut de l'estuaire jusqu'à l'embouchure (Tramoy et al. 2019). Des méthodes de modélisation permettent d'anticiper l'évolution du flux de plastique et du volume de déchets à court, moyen et long terme (Jambeck et al. 2015; Lebreton et al. 2017). Se pose également la question de la prolifération des déchets, par collision dans l'espace et par fragmentation dans le cas des plastiques marins (Gigault et al. 2018). Enfin, on retrouve une réflexion sur les modalités concrètes de l'action : comment réduire l'arrivée de plastique dans les océans (mitigation) (De Frond et al. 2019) et quelles solutions techniques pour récupérer le plastique en mer (remédiation) (Helinski, Poor, Wolfand 2021).

Ces catégories semblent persister dans d'autres problèmes similaires. Elles doivent donc renvoyer à différents types de connaissances récurrents. Nous en distinguons quatre, qui seront détaillés dans les parties suivantes : la connaissance observable (1.1), la connaissance anticipatoire (1.2), la connaissance opérationnelle (1.3) et la connaissance réflexive (1.4).

| | Connaissance observable | Connaissance anticipatoire | Connaissance opérationnelle | Connaissance réflexive |
|-----------------|--|--|--|--|
| Approche | Description | Projection | Innovation | Réflexivité |
| Outil | Mesures Description Modèles descriptifs | Scénarios Modèles évolutifs | Innovation R&D | Analogie Description Débat éthique |
| Rôle | Scientifique Stratégique | Légitimation Responsabilisation Diffusion Dramatisation | Mitigation Remédiation Démonstration | Inspiration Ouverture |

Tableau 21 Proposition de typologie de la connaissance

3.1.1. La connaissance observable

Le premier type de connaissance porte sur la compréhension du phénomène et sa description. Il s'agit de comprendre quelles sont ses caractéristiques physiques et comment se comportent les agents (humains ou non-humains) qui sont impliqués dans le problème.

Dans le cas des débris spatiaux, il s'agit principalement de savoir où se trouvent les objets, en calculant leur emplacement et leur trajectoire. Les experts ont eu conscience de la présence de débris artificiels dès la début de la conquête spatiale. Seulement, le nombre de ces objets a longtemps été considéré comme négligeable, tout comme le risque qu'ils pouvaient entraîner pour les satellites. Suite à l'explosion en juin 1961 de l'étage supérieur du satellite américain Able Star, une première série d'études a conclu que, comme les débris générés étaient trop petits pour être traqués par les radars, ils ne présentaient pas de risque pour les satellites actifs. Dans les années 1970, les experts commencent à utiliser des méthodes de mesure plus élaborées, grâce aux télescopes au sol et à l'hypervélocité, mais il faudra encore attendre plusieurs décennies pour saisir l'importance que peuvent avoir les petits débris dans le risque de collision. L'amélioration de l'instrumentation, et notamment des systèmes de radars, rend peu à peu possible le suivi de fragments plus nombreux et plus petits. La première European Space Debris Conference de 1993 consacrait une seule session aux mesures. L'amélioration de l'instrumentation a permis des mesures de plus en plus précises et cette catégorie a progressivement pris de l'ampleur au fil du temps. Lors des deux dernières éditions de la

conférence (2017 et 2021), les sessions consacrées aux mesures distinguaient non seulement le lieu où elles étaient réalisées (depuis l'espace, depuis le sol), mais également quelles technologies étaient mobilisées (mesures radars, mesures optiques).

Que ce soit au sol ou dans l'espace, la collecte de ces données a un coût. Il faut pouvoir construire des réseaux de radars et surtout disposer des capacités nécessaires pour traiter cette information. La production de ce savoir pourrait donner lieu à une commercialisation, comme évoqué dans le Chapitre 4. De nombreuses entreprises privées se positionnent sur ce marché. Par ailleurs, l'accès à cette connaissance et sa production représentent aussi un enjeu stratégique important pour les États. Si les États-Unis possèdent le catalogue le plus complet au monde sur la position des objets en orbite, les pays européens développent depuis 2014 leur propre réseau de radars (EUSST) afin de dépendre le moins possible de l'information américaine. En effet, avoir directement accès à cette information est crucial dans une perspective de défense.

Analyser l'environnement spatial équivaut à comprendre comment les débris se comportent, et donc d'étudier également les mécanismes de collision et de dispersion des débris. Étant donnée la vitesse à laquelle ils se déplacent (plus de 8 km/seconde), le phénomène empirique est bien différent de ce que l'on connaît sur Terre. Il n'y a pas d'explosion mais une implosion, suivie de la formation d'un nuage de débris. L'étude de ce phénomène, qualifié d'impact hypervélocité en termes scientifiques, remonte, bien avant la découverte des débris spatiaux, aux recherches sur les météorites dont les premières remontent aux années 1950 (Weeden, 2016). Cette connaissance a la particularité d'être produite par à-coups, à l'occasion d'accidents en orbite. En 2007, le test de missile antisatellites réalisé par la Chine, qui provoque la création d'un nuage de près de 3000 débris, entraîne la parution de plusieurs articles de recherche dont certains sont présentés lors de la cinquième European Space Debris Conference (Vallado et al. 2009) proposant notamment de nouvelles méthodes de visualisation du nuage de débris. Ils permettent de réfuter des conceptions jusqu'alors tenues pour vraies, comme l'idée que les débris seraient rentrés dans l'atmosphère en moins de dix ans. Les analyses du nuage de débris et les mesures ont montré que seulement 7 % des débris seraient retombés dans les 10 ans, le reste risquant de rester en orbite plus d'une centaine d'années (Kelso, 2007, pp. 8-9). Lors de la collision entre les satellites Cosmos et Iridium en 2009, Kelso se penche à nouveau sur ce qu'il nomme « l'anatomie de la collision ». L'analyse de l'accident révèle que la précision des outils de surveillance n'était simplement pas suffisante pour anticiper l'accident, étant donnée la fréquence des rapprochements entre satellites : « *Determining that the predicted conjunction for Iridium 33 and Cosmos 2251 was more significant than the many dozens of other Iridium*

*conjunctions for that week is simply not possible using the TLE data*²². » (Kelso, 2009, p. 4). L'évolution de cette connaissance est donc étroitement liée à la survenue de certains évènements extraordinaires.

La connaissance observable constitue un premier type de connaissance sur les problèmes globaux. Dans le cas des débris, il s'agit de savoir combien ils sont, où ils sont, et comment ils se comportent. Cette connaissance a un coût, puisqu'il faut en financer la collecte. Elle peut potentiellement avoir une valeur économique, puisqu'on peut la commercialiser en vendant des services d'analyse de données de positionnement et d'évitement de collisions. Elle revêt également une dimension stratégique pour les pays. Elle est donc produite à la fois par des acteurs publics, des armées, des agences spatiales, mais également par des acteurs privés qui l'utilisent pour eux-mêmes ou tentent de la commercialiser.

La connaissance observable est notamment produite à partir de modèles. Dans le résumé qu'il fait de la première European Space Debris Conference, Walter Flury décrit la modélisation en ces termes : « *Modelling refers to the process by which the space debris environment is described by a set of mathematical expressions which normally require the use of computers.* » (Flury, 1994, p. 27). Ces modèles sont descriptifs, comme le modèle MASTER de l'ESA (Braun et al. 2021), ou le modèle ORDEM de la NASA (Matney et al. 2019) et permettent de rendre compte de l'état actuel de l'environnement. Cependant, il existe également d'autres types de modèles, dits évolutifs, comme le modèle LEGEND de la NASA (Matney et al., 2019). Ces modèles ont pour rôle d'anticiper l'évolution de l'environnement spatial (Drmolá, Hubik 2018). Ils relèvent d'une seconde catégorie de connaissance.

3.1.2. La connaissance anticipatoire

Le concept de connaissance anticipatoire est issu d'un article de Flyverbom & Garsten (2021) qui prennent pour objet d'étude la gouvernance anticipatoire, « *a knowledge-based, performative phenomenon that addresses potential and desirable futures and operates as a mode of shaping, controlling and orchestrating organizations* » (Flyverbom & Garsten, 2021, p. 3). Selon eux, ce type de connaissance peut prendre la forme de données chiffrées, mais également de narratifs. Nous nous appuyons sur leur typologie pour décrire cette deuxième catégorie de connaissance.

²² TLE : Two-Line Element set, ou paramètres orbitaux à deux lignes, qui renvoie à une méthode de représentation des trajectoires orbitales.

Pour comprendre l'origine de ce type de modélisation et le rôle qu'elle joue dans la compréhension du problème, il nous faut remonter encore plus loin que la première édition de la European Space Debris Conference, jusque dans les années 1970. À cette époque-là, Donald J. Kessler, est un jeune ingénieur texan employé par la NASA et spécialiste de l'étude des astéroïdes et de la dynamique de leur formation et de leur dispersion. Il s'intéresse notamment à l'effet de collisions en cascade observé lors de la fragmentation des débris naturels. Peu à peu, ses travaux s'orientent vers les débris artificiels en orbite. On l'a vu, l'existence des débris a déjà été démontrée, mais est encore considérée comme un risque négligeable. Malgré le manque de moyens alloués à ses projets, Kessler réussit à réaliser une étude sur les probabilités de collision d'objets artificiels en orbite et à proposer un modèle mathématique inspiré des projections faites sur les météoroïdes et montrant un phénomène similaire de collisions en cascade. Il sera publié dans le très fameux article « Collision Frequency of Artificial Satellites : The Creation of a Debris Belt », paru le *Journal of Geophysical Research* en 1978 et co-signé par son directeur de recherche, Burton Cour-Palais.

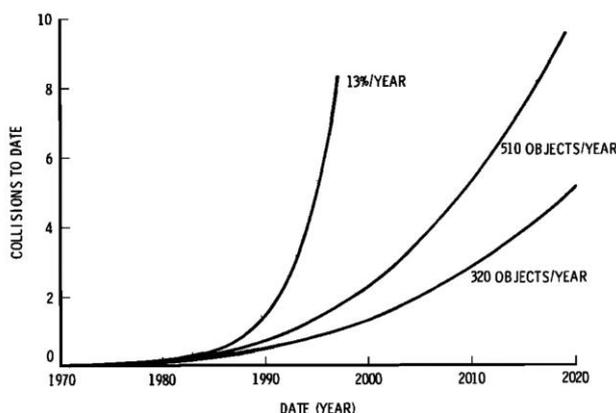


Fig. 4. Total collisions by the given date under various growth assumptions. The first collision is expected between 1989 and 1997.

Figure 8 Projection du nombre de collisions en orbite selon le modèle de Kessler

Kessler & Cour-Palais (1978, p. 2639)

Cet article est devenu la pierre angulaire de la production de connaissances sur les débris spatiaux. C'est par une de ces courbes exponentielles, avec extrapolation des résultats, que le problème a été rendu visible parmi les chercheurs des agences et plus largement au sein de l'industrie spatiale. Depuis, les modèles mathématiques se sont imposés comme les outils les plus adaptés pour décrire, comprendre et débattre de l'évolution de l'environnement orbital

dont ils permettent d'anticiper l'évolution par le biais d'une extrapolation de résultats. Ils permettent de réfléchir à partir de scénarios (Drmola, Hubik 2018), outils méthodologiques utilisés aussi bien par les sciences naturelles que par les sciences sociales (Ahire et al., 2020). La méthode est d'ailleurs toujours d'actualité. Lors de la septième European Space Debris Conference en 2017, une des deux sessions consacrées à ce thème portait sur l'apparition récente des méga-constellations (Session *Environment Modelling and Prediction – Large Constellations*).

Le domaine des débris spatiaux, et les conférences internationales, ne sont pas des lieux où font rage de nombreuses controverses scientifiques. Le champ de recherche étant encore en formation, les experts ont intérêt à rester solidaires et cohérents sur le choix des méthodes et l'orientation des résultats. Néanmoins, notre enquête a révélé que les méthodes de modélisation soulevaient des débats. Un expert nous raconte une anecdote survenue lors d'une des European Conference on Space Debris :

« À Darmstadt, toutes les agences européennes ont fait un papier d'ouverture disant que la situation était préoccupante parce les simulations pour les 200 prochaines années montraient que l'espace ne serait plus utilisable. Le lendemain, deux papiers du CNES montraient que la modélisation était problématique, parce que toutes les études utilisaient le break-up model (génération des débris après une collision). Aucune agence n'avait fait l'effort de mettre à jour ce modèle. Seul le CNES disait qu'il fallait se poser des questions et montrait que le nombre de débris allait diminuer. Fondamentalement, faire des simulations sur 200 ans est débile. Il y a soixante ans, on ne savait pas ce qu'était un satellite. [...] Or, toutes les simulations sont faites sur 200 ans... C'est de la catastrophologie. » [Expert agence]

Cet acteur soulève le point particulièrement intéressant de l'incertitude qui entoure les scénarios sur lesquels sont appuyés ces simulations. Les modèles pour calculer les conséquences des collisions n'étant pas actualisés avec les dernières données disponibles, le risque d'erreur semble d'autant plus important. On note également un conflit entre plusieurs approches, celle du CNES et les autres. Plusieurs auteurs soulignent les faiblesses de ces modèles, imputables à la qualité des données dont disposent les chercheurs (DeMars, Cheng, Jah 2014; Drmola, Hubik 2018). Celles-ci sont souvent parcellaires en ce qui concerne le nombre de débris présents dans l'espace et la manière dont ils se comportent, notamment lors de leur fragmentation. La fiabilité

des modèles est également soumise à de nombreuses variables externes, comme l'activité solaire, ou dépendantes du comportement des parties prenantes, comme le respect de certaines mesures réglementaires. Les modèles s'appuient seulement sur une extrapolation de l'état actuel de l'environnement spatial parfois sur des centaines d'années. Ils ne peuvent donc pas prendre en compte l'inévitable évolution technologique, économique, juridique du secteur spatial et ont constamment besoin d'être révisés, réévalués (Cimmino et al. 2021). Le risque principal est de voir émerger un phénomène de looping, c'est-à-dire des « scénarios de scénarios », dans lesquels on a du mal à savoir où commence et où s'arrête la construction d'hypothèses. Un ingénieur rencontré au cours de nos entretiens résume :

« La connaissance est imparfaite. Or, elle sert à anticiper. Certains pensent que la catastrophe est pour après-demain mais l'état de criticité est difficile à juger. »
[Ingénieur firme]

La connaissance anticipatoire n'est pas uniquement le fait de statisticiens ou d'experts scientifiques d'agences spatiales. Elle peut être mobilisée par d'autres champs disciplinaires. On remarque la publication, relativement récente, de plusieurs articles sur les conséquences de la mise en place de mesures d'incitation économique, comme une taxe (Macaulay 2015), de la création de formes de gouvernances alternatives (Salter 2015). Adilov et al. (2018) proposent même une modélisation mathématique qu'ils appellent le « syndrome de Kessler économique ». De plus, un travail de grande ampleur a été entrepris au sein de l'OCDE sur ce sujet, avec la parution d'un premier rapport appelé *The Economics of Space Debris in Perspective* (Undseth, Jolly, Olivari 2020), présenté lors de la 8^e édition de la European Space Debris Conference (Undseth, Jolly, Olivari 2021). Ce projet explore l'ensemble des conséquences économiques que pourront avoir les débris spatiaux, en termes de coûts pour les utilisateurs de l'espace ou d'opportunité de développement de nouveaux services. La connaissance anticipatoire économique est également produite par des acteurs privés, qui cherchent à concrétiser un potentiel marché des débris. Des analystes et experts de la startup Astroscale, par exemple, ont publié plusieurs articles ayant recours au procédé méthodologique du scénario, cherchant ainsi à démontrer le potentiel économique de l'Active Debris Removal (Brettle et al. 2019).

Pour résumer, la connaissance de type anticipatoire repose sur des outils de la modélisation. Elle consiste en la formulation d'hypothèses à partir de données issues de la connaissance

observable. Par ailleurs, elle peut faire l'objet de controverses, notamment au sujet de sa potentielle circularité.

3.1.3. La connaissance opérationnelle

Le troisième type de connaissance est de nature opérationnelle et repose sur l'innovation technologique. Son objectif est d'apporter des réponses aux questions suivantes : comment fait-on, concrètement, pour contrer le problème des débris spatiaux, construire des satellites plus résistants, imaginer des satellites nettoyeurs, réaliser des opérations de rendez-vous ?

Dès 1993, une session de la European Space Debris Conference est consacrée à la mitigation, définie comme les « *methods and practices which will directly contribute to minimize the hazard of space debris* » (Flury, 1994, p. 29). Il s'agit par exemple d'encourager la pratique de la passivation, qui consiste à vider les satellites de leur carburant en fin de vie, mais également le développement de nouvelles méthodes de conception de satellites, intégrant des mécanismes de gestion de fin de vie. Au début des années 1990, le nettoyage des débris spatiaux est encore considéré comme irréaliste, autant d'un point de vue technique qu'économique. Trente ans plus tard, la situation a changé. De nouvelles technologies ont émergé, permettant d'envisager des missions de désorbitation. La catégorie « mitigation » est élargie pour accueillir la notion de remédiation. Cette notion fait sa première apparition dans la European Space Debris Conference en 2009 dans une communication de Klingard et Johnson, deux chercheurs de l'ESA et de la NASA qui soulignent l'importance de développer des méthodes de remédiation pour faire face à l'évolution de la situation orbitale. Il faudra attendre 2013 pour que la remédiation apparaisse dans le titre d'une session aux côtés de la mitigation, et jusqu'à 2017 pour que la notion fasse l'objet d'une session à part entière.

La connaissance opérationnelle est produite de différentes manières. Certains auteurs en parlent de manière rétrospective, sous la forme d'un retour d'expérience, comme Forshaw et al. (2016) qui reviennent sur l'initiative RemoveDebris, lancée par l'ESA réalisée avec l'aide d'un consortium d'industriels et avec l'université de Southampton pour développer et tester de nouvelles technologies d'ADR et de servicing. La connaissance opérationnelle peut également être plus prospective et porter sur la présentation de nouvelles techniques de blindage, d'approche, de capture, de désorbitation. À l'occasion de la septième European Space Debris Conference, Masson et al. (2017) présentent une nouvelle technologie de capteurs permettant de s'approcher du satellite cible en cours de développement. La connaissance opérationnelle

provient non seulement du monde académique, notamment des programmes spécialisés et des démonstrations, mais également des départements de R&D d'entreprises privées. Parfois, elle est le résultat d'une collaboration entre différents acteurs qui font équipe pour la produire.

La connaissance opérationnelle ne porte pas uniquement sur des technologies. En 2019, le Space Forum du World Economic Forum lance le « Space Sustainability Rating » (SSR), un label durable pour les lancements et les missions spatiales et sélectionne un consortium de recherche, composé de l'agence spatiale européenne, du MIT, de l'université du Texas à Austin et d'une entreprise de conseil Bryce Space and Technology. Inspiré du modèle de la certification écologique LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), le label a pour but d'inciter les opérateurs de satellites et les constructeurs à participer à l'effort collectif. Il est présenté lors de la dernière European Space Debris Conference par l'ensemble de l'équipe scientifique (Letizia et al. 2021). S'il ne s'agit pas d'une technologie au sens propre, le label désigne un outil pratique qui peut permettre l'amélioration de la situation en orbite, et qui lui confère donc le statut de connaissance opérationnelle.

3.1.4. La connaissance réflexive

On distingue un dernier type de connaissance, peut-être plus difficile à définir, qui relève davantage d'une forme d'analyse réflexive, et tente de répondre à la question suivante : de quel type de problème s'agit-il ? Cette réflexion est éloignée des calculs de mesures et d'emplacement des débris sur les orbites, de la modélisation ou du développement d'outils concrets. Elle porte sur la nature même du problème, sur les concepts utilisés pour l'étudier. Comme les fictions fantasmagoriques de Flyverbom & Garsten (2021) (*fantasmagoric fictions*, i.e « *templates for organizational action that depict the future through fantastic imagery, impressionistic suggestions and incongruous juxtapositions* », p. 14), cette connaissance réflexive s'appuie sur des outils narratifs. Cependant, elle ne relève pas forcément de la projection.

Les travaux en droit sur le statut juridique des débris spatiaux est un premier exemple de ce type de connaissance. La définition juridique des débris pose problème (Perek 2005), car ils ne sont pas mentionnés dans les traités de l'espace. Habituellement, on se réfère à la définition donnée par l'IADC²³. Plusieurs chapitres du *Handbook of Space Law* publié en 2015 par Frans

²³ « *Space debris are all man-made objects, including fragments and elements thereof, in Earth orbit or re-entering the atmosphere, that are non-functional* » (IADC, Terms of Reference, 1993)

Von der Dunk et Fabio Tronchetti (von der Dunk 2015) sont consacrés aux problématiques soulevées par les débris spatiaux, que ce soit sur leur définition ou sur la difficulté à faire émerger des règles de comportement, par exemple un code de la route spatial. Face à un débris, on imagine qu'un satellite manœuvrera au mieux pour l'éviter, mais cette opération ne fait pas l'objet d'une règle. Le développement de projets d'Active Debris Removal complique les données du problème. Un État a-t-il le droit de désorbiter un objet qui ne lui appartient pas, sans l'accord de l'État propriétaire ? Cela pourrait être considéré comme une atteinte au principe de souveraineté nationale. Si un éboueur de l'espace provoque une collision, l'État lanceur, pourtant de bonne volonté, devra-t-il prendre en charge les dégâts causés ? Autant de questions auxquelles le droit spatial n'est aujourd'hui pas en mesure de répondre. Les connaissances sur le statut juridique des débris spatiaux sont produites au sein des universités ou par des experts juridiques. Elles peuvent également provenir d'autres types d'organismes, comme des associations non-étatiques, à l'image de l'IISL (International Institute of Space Law) qui rassemble une communauté de juristes du droit spatial. D'autres associations, qui ne sont pas composées exclusivement de juristes, travaillent également sur le sujet. C'est le cas par exemple de la Secure World Foundation qui consacre un de ses axes de recherche à la question du droit spatial. On remarque d'ailleurs que cette connaissance est étroitement liée à l'évolution des moyens techniques. Le débris est défini comme un objet non-fonctionnel. À partir du moment où il devient possible d'intervenir sur un satellite pour le réparer, il n'est plus véritablement un débris, mais un objet qui peut potentiellement redevenir fonctionnel.

Ces études sont également complétées par des travaux portant sur le mode de gouvernance des débris spatiaux (Buchs, 2020, Williams & Rotola, 2021). On n'étudie plus seulement le comportement du débris dans l'espace ou les techniques utilisées pour les désorbiter, mais le type de gouvernance mis en place et ses limites. Il faut souligner une volonté d'ouverture à d'autres concepts ou champs disciplinaires qui n'étaient pas mobilisés jusqu'alors. Lors de la conférence de 2021, une présentation par des chercheurs en sciences politiques portait sur l'intérêt d'utiliser la théorie des communs globaux pour appréhender le problème des débris spatiaux (Lambach, Wesel 2021).

La question des débris spatiaux a même suscité l'intérêt d'archéologues. En effet, les débris peuvent être perçus comme des vestiges, appartenant au paysage culturel spatial (ou « spacescape »). Selon Alice Gorman (Gorman 2019a; 2019b), l'ensemble des déchets de notre activité spatiale depuis la fin des années 1950 seraient ainsi investis d'une valeur historique. Témoins silencieux de l'histoire spatiale, ils revêtent une utilité symbolique et sociale.

Ce type de connaissance est produit dans des lieux variés. Il peut émerger des travaux de certaines agences spatiales. Le CNES est la première agence à avoir créé un comité éthique sur les questions spatiales. Au sein des firmes, également, certaines personnes sont chargées de produire ce type de connaissance :

« Ce que moi je faisais, c'était une vision globale qui ne générerait pas de business. [Un constructeur de satellites] pouvait se permettre qu'un de ses cadres dirigeants passe quelques heures par mois à réfléchir à ce problème. C'était un luxe. On n'était pas positionné sur le SST [Space Trafic Management]. Il fallait qu'on ait un avis. Mais, grâce à cet avis, on a généré des concepts très intéressants ». [Expert senior firme]

Ces travaux peuvent aussi provenir d'autres organismes de recherche plus hybrides, comme la chaire Sirius (Space Institute for Research on Innovative Uses of Satellites)²⁴, consacrée à l'étude de l'espace à travers le droit et le management.

Ce type de réflexion présente l'avantage de répondre au phénomène de fermeture de la communauté scientifique que nous avons observé au cours de l'enquête. Plusieurs interlocuteurs ont souligné l'importance d'avoir recours à des experts externes au problème pour pouvoir faire avancer le débat et positionner différemment le problème.

« La communauté ? L'avantage est qu'on fonctionne bien, ça permet de faire de la veille, d'avoir une vision plus globale, de faire de la coordination. (...) L'écueil : ils se rencontrent tout le temps, ils ont leur os à ronger, on a des professionnels. Ce n'est pas forcément mauvais s'ils ont un rôle distributeur et qu'ils ont des échanges, par exemple avec des gens comme vous. » [Expert juridique agence]

« Les gens de ce milieu sont des techniciens, ils inventent des solutions techniques mais sans voir où ils vont. Les solutions viendront de gens extérieurs. » [Expert État]

« How are we really going to solve that problem? We [startup] try to do that but we are always constrained by the need to find money. As in any fields, academicians can

²⁴ <https://chaire-sirius.eu>

provide the bluest sky, no constraints... and that's their huge value! It plays an important role. » [Membre Startup]

Pour conclure cette section, nous nous permettons d'évoquer notre propre démarche. Nous aussi sommes en train de produire de la connaissance sur le problème des débris spatiaux. De quel type est cette connaissance ? Elle ne semble pas être de nature observable car elle ne participe pas directement à la compréhension du phénomène physique des débris spatiaux. Si l'utilisation de scénarios de gestion dans l'Article 1 peut faire écho à la connaissance anticipatoire, l'objectif n'est pas non plus de faire des projections sur les possibles voies d'évolution du problème. On pourrait s'attendre à ce que les sciences de gestion produisent de la connaissance opérationnelle, qui reposerait non pas sur des innovations technologiques mais institutionnelles ou organisationnelles, en proposant des voies d'action concrètes aux acteurs. Cependant, la complexité du problème des débris spatiaux rend la formulation de telles pistes d'action particulièrement ardue. Dans le cadre de cette thèse, l'analyse vise d'abord à décrire le problème et son évolution et à réfléchir sur le type de problème qu'il pose. Nous cherchons à donner à voir le processus social d'à l'œuvre dans le problème des débris. À ce titre, nous nous inscrivons également dans une connaissance de type réflexif.

Les différentes catégories de connaissance peuvent être perméables. En effet, elles interagissent les unes avec les autres. On note d'abord un lien entre la connaissance observable et opérationnelle. Dans la première conférence de 1993, le phénomène de l'impact hypervélocité et la protection des satellites étaient traités dans deux sessions distinctes. Dans notre typologie, le premier relève en effet de la connaissance observable (le comportement des débris) et l'autre de la connaissance opérationnelle (que faire concrètement pour régler le problème). Toutefois, à partir de la troisième conférence de 2001, les deux sujets sont traités conjointement dans une même session, approche maintenue dans toutes les éditions suivantes. Il peut donc parfois y avoir rapprochement entre l'observation purement scientifique et des préoccupations plus proches de l'ingénierie.

On peut également souligner une interaction entre la connaissance opérationnelle et la connaissance anticipatoire. En effet, des éléments de la connaissance opérationnelle apparaissent dans les modélisations les plus récentes sur l'évolution de l'environnement orbital. Le modèle LEGEND propose plusieurs courbes simulant l'application de mesures de désorbitation en fin de vie (respect des standards internationaux), avec la désorbitation de deux débris, et de cinq débris par an. Ce phénomène rappelle ce que Flyverbom & Garsten (2021)

nomment les transformations projetées (*projected transformations*, i.e des « *forms of knowledge that provide an interpretive lens to what is going on in the world and to what may come, given certain kinds of decisions and chains of events.* » (Flyverbom & Garsten, 2021, p. 13).

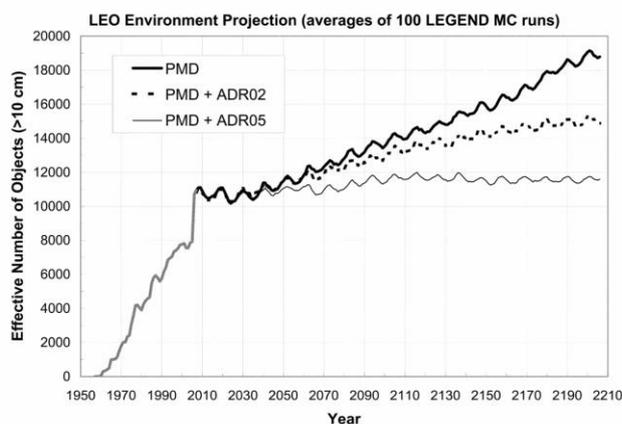


Figure 7. LEGEND Model Predictions of the Number of Catalogued Objects for 3 Scenarios: PMD only, PMD plus ADR of 2 objects per year, and PMD plus ADR of 5 objects per year.

Figure 9 Modèle LEGEND avec scénarios d'ADR
tiré de Kessler et al., 2010, p. 13

L'analyse des actes des European Space Debris Conference nous a permis de formuler une typologie de la connaissance caractéristique des problèmes globaux. La connaissance peut d'abord être d'un type observable, visant à comprendre le comportement des débris dans l'espace (emplacement, trajectoire, collisions). Elle peut aussi être anticipatoire, appuyée sur un principe d'extrapolation, tentant d'anticiper l'évolution de l'environnement, ou opérationnelle, lorsque l'on cherche à proposer des solutions techniques au problème à travers de la mitigation et de la remédiation. Enfin, elle peut être de nature réflexive, interrogeant la nature du problème. Chacune de ces catégories englobe des connaissances issues de champs disciplinaires différents, les sciences physiques, bien sûr, mais également l'économie, le droit, les sciences politiques, la gestion. Ces connaissances sont produites par des acteurs variés, qui peuvent être des scientifiques mais également des ingénieurs, des chercheurs issus de différents domaines, travaillant pour des organismes publics, des firmes privées, des organisations internationales. Elles sont produites non seulement dans des lieux variés mais dans des occasions variées, de façon plus ou moins régulière, en partenariat entre plusieurs acteurs. Elles ont un coût de production et peuvent avoir une valeur marchande. On s'aperçoit qu'on ne peut

pas catégoriser les acteurs en fonction du type de savoir qu'ils sont censés produire : des acteurs privés, par exemple des ingénieurs de l'industrie spatiale qui travaillent sur des projets de R&D dans l'industrie, peuvent produire du savoir scientifique lorsqu'ils lancent leurs prototypes ou réalisent leurs missions. Les agences spatiales, traditionnellement connues pour la production de connaissance observable, peuvent aussi produire une réflexion sur les modes de gouvernance du problème. Les différents types de savoirs non seulement se côtoient, mais également s'enrichissent les uns les autres.

3.2. La production d'une connaissance orientée vers le comportement des acteurs

Dans la conception d'Elinor Ostrom, le processus de *commoning* renvoie au processus d'allocation d'une ressource. Or Valérie Fournier (2013) montre que le *commoning* peut également concerner le processus d'utilisation et de production en commun d'une ressource. Il ne s'agit pas seulement d'un "*organizing in common*" mais également d'un "*organizing for the common*" et "*of the common*". Fournier illustre son propos à travers l'exemple d'espaces urbains. Les jardins dont s'occupent les habitants ne sont pas seulement équitablement accessibles à tous. Ils sont aussi cultivés collectivement : « *It is about creating community and solidarity through the sharing of work, food and knowledge: it is producing of the commons. Common use is in turn productive of the commons.* » (Fournier, 2013, p. 442). Cette dimension du *commoning* peut-elle être transposée à l'échelle globale ? Jusqu'à présent, les orbites terrestres ne sont pas exploitées collectivement. Néanmoins, on observe une autre forme de production collective par des commoneurs globaux qui élaborent ensemble des savoirs nécessaires à la gestion du problème. Cette connaissance semble revêtir une autre particularité : elle est orientée vers la gestion du problème (3.2.1). En effet, on voit qu'elle agit directement sur la mise en place d'un marché ou sur le système de régulation (3.2.2).

3.2.1. Une connaissance orientée vers le comportement des acteurs

Peter Haas définit la communauté épistémique comme « *a network of professionals with recognized expertise and competence in a particular domain and an authoritative claim to policy-relevant knowledge within that domain or issue-area* » (Haas, 1992, non souligné dans le texte original). On pourrait traduire cette idée de « *policy-relevant knowledge* » par la pertinence politique de la connaissance, ou même plus largement comme une pertinence

managériale, dans le sens où la connaissance produite par les commoneurs est pertinente pour la gestion du problème. En effet, les différents types de connaissance que nous venons de décrire sont orientés vers le comportement des acteurs. On se demande où sont les débris, ce qui se passe lors d'une collision, de quelle manière va évoluer la situation, ou comment faire, techniquement parlant, pour éviter d'en produire de nouveaux et nettoyer les plus dangereux. Chacune de ces dimensions revêt une intention d'action. On cherche à savoir où sont les débris pour mieux pouvoir les éviter. On étudie le mécanisme des collisions pour construire des satellites plus robustes. On modélise l'évolution de l'environnement spatial pour mettre en évidence les conséquences de l'action ou de l'inaction des acteurs. Enfin, on étudie les techniques de mitigation et d'ADR pour essayer de fournir aux acteurs des technologies efficaces dont ils peuvent s'emparer, notamment en créant un marché commercial.

Prenons un exemple concret. En 2021, une équipe de chercheurs et d'ingénieurs internationaux, issus des agences spatiales, du monde académique et du secteur privé, publie dans la revue *Acta Astronautica*, une liste des cinquante débris les plus dangereux. Selon notre catégorisation, cette étude relève plutôt d'une connaissance observable : on établit une liste de débris en fonction de certaines caractéristiques qui relèvent du calcul de l'altitude, de la taille, de la vitesse, du temps passé en orbite, de l'environnement, etc. Or, l'objectif, assumé, de cette étude est d'aider les entreprises de l'ADR à développer et d'affiner leurs modèles économiques et leur proposition de valeur (McKnight et al. 2021). On voit une volonté d'orienter les comportements en établissant la responsabilité de certains acteurs propriétaires de débris dangereux. On imagine que cette liste pourrait aussi jouer un rôle réputationnel pour certains acteurs, qui ne souhaitent pas y figurer plus longtemps. À l'inverse, elle peut servir d'atout dans l'argumentaire d'acteurs qui tentent de promouvoir le problème et son urgence.

| Ranking | Score | SATNO | Number of Lists | SATNAME | APOGEE, km | PERIGEE, km | INCL., deg | MASS, kg | COUNTRY | LAUNCH |
|---------|-------|--------|-----------------|--------------|------------|-------------|------------|----------|---------|------------------|
| 1 | 4048 | 22,566 | 11 | SL-16 R/B | 848 | 837 | 71.0 | 9000 | CIS | 3/26/1993 |
| 2 | 3710 | 22,220 | 10 | SL-16 R/B | 848 | 827 | 71.0 | 9000 | CIS | 11/17/1992 |
| 3 | 3500 | 31,793 | 10 | SL-16 R/B | 846 | 843 | 71.0 | 9000 | CIS | 6/29/2007 |
| 4 | 3470 | 26,070 | 9 | SL-16 R/B | 854 | 827 | 71.0 | 9000 | CIS | March 2, 2000 |
| 5 | 3330 | 16,182 | 10 | SL-16 R/B | 844 | 833 | 71.0 | 9000 | CIS | 10/22/1985 |
| 6 | 3300 | 20,625 | 10 | SL-16 R/B | 853 | 834 | 71.0 | 9000 | CIS | 5/22/1990 |
| 7 | 2880 | 27,006 | 8 | SL-16 R/B | 1006 | 986 | 99.5 | 9000 | CIS | October 12, 2001 |
| 8 | 2862 | 23,705 | 9 | SL-16 R/B | 852 | 831 | 71.0 | 9000 | CIS | 10/31/1995 |
| 9 | 2826 | 25,407 | 9 | SL-16 R/B | 844 | 835 | 71.0 | 9000 | CIS | 7/28/1998 |
| 10 | 2800 | 23,405 | 10 | SL-16 R/B | 845 | 838 | 71.0 | 9000 | CIS | 11/24/1994 |
| 11 | 2547 | 17,974 | 9 | SL-16 R/B | 846 | 823 | 71.0 | 9000 | CIS | 5/13/1987 |
| 12 | 2412 | 23,088 | 8 | SL-16 R/B | 845 | 841 | 71.0 | 9000 | CIS | 4/23/1994 |
| 13 | 2296 | 22,285 | 8 | SL-16 R/B | 844 | 840 | 71.0 | 9000 | CIS | 12/25/1992 |
| 14 | 2240 | 22,803 | 8 | SL-16 R/B | 850 | 823 | 71.0 | 9000 | CIS | 9/16/1993 |
| 15 | 1813 | 19,650 | 7 | SL-16 R/B | 848 | 831 | 71 | 9000 | CIS | 11/23/1988 |
| 16 | 1771 | 24,298 | 8 | SL-16 R/B | 863 | 839 | 70.8 | 9000 | CIS | April 9, 1996 |
| 17 | 1650 | 28,353 | 7 | SL-16 R/B | 848 | 842 | 71.0 | 9000 | CIS | October 6, 2004 |
| 18 | 1617 | 17,590 | 8 | SL-16 R/B | 841 | 831 | 71.0 | 9000 | CIS | 3/18/1987 |
| 19 | 1547 | 19,120 | 7 | SL-16 R/B | 842 | 814 | 71.0 | 9000 | CIS | 5/15/1988 |
| 20 | 1477 | 25,400 | 7 | SL-16 R/B | 813 | 801 | 98.6 | 9000 | CIS | October 7, 1998 |
| 21 | 1320 | 27,386 | 5 | ENVISAT | 766 | 764 | 98.1 | 7800 | ESA | January 3, 2002 |
| 22 | 1182 | 27,001 | 6 | METEOR 3 M | 1013 | 994 | 99.6 | 2500 | CIS | October 12, 2001 |
| 23 | 805 | 24,277 | 4 | ADEOS | 794 | 793 | 98.9 | 3560 | JPN | 8/17/1996 |
| 24 | 600 | 27,601 | 4 | H-2A R/B | 836 | 734 | 98.2 | 3000 | JPN | 12/14/2002 |
| 25 | 564 | 15,334 | 4 | SL-12 R/B(2) | 847 | 838 | 71.0 | 2440 | CIS | 9/28/1984 |
| 26 | 512 | 37,932 | 4 | CZ-2D R/B | 846 | 791 | 98.7 | 4000 | PRC | 11/20/2011 |
| 27 | 468 | 10,732 | 4 | SL-8 R/B | 995 | 966 | 82.9 | 1435 | CIS | 3/15/1978 |
| 28 | 416 | 24,279 | 5 | H-2 R/B | 1306 | 860 | 98.7 | 2700 | JPN | 8/17/1996 |
| 29 | 384 | 23,704 | 3 | COSMOS 2322 | 854 | 842 | 71.0 | 3250 | CIS | 10/31/1995 |
| 30 | 324 | 21,090 | 3 | SL-8 R/B | 992 | 961 | 82.9 | 1435 | CIS | May 2, 1991 |
| 31 | 316 | 28,352 | 3 | COSMOS 2406 | 863 | 844 | 71.0 | 3250 | CIS | October 6, 2004 |
| 32 | 309 | 23,087 | 2 | COSMOS 2278 | 852 | 841 | 71.1 | 3250 | CIS | 4/23/1994 |
| 33 | 270 | 19,119 | 2 | COSMOS 1943 | 851 | 833 | 71.0 | 3250 | CIS | 5/15/1988 |
| 34 | 261 | 27,597 | 2 | ADEOS 2 | 801 | 800 | 98.5 | 3680 | JPN | 12/14/2002 |
| 35 | 240 | 25,861 | 4 | SL-16 R/B | 645 | 622 | 98.2 | 9000 | CIS | 7/17/1999 |
| 36 | 240 | 15,772 | 3 | SL-12 R/B(2) | 848 | 794 | 71.1 | 2440 | CIS | 5/30/1985 |
| 37 | 228 | 10,693 | 3 | SL-8 R/B | 989 | 957 | 83.0 | 1435 | CIS | 2/28/1978 |
| 38 | 228 | 17,973 | 2 | COSMOS 1844 | 866 | 824 | 71.0 | 3250 | CIS | 5/13/1987 |
| 39 | 225 | 27,387 | 3 | ARIANE 5 R/B | 796 | 748 | 98.6 | 2575 | FR | January 3, 2002 |
| 40 | 207 | 7594 | 3 | SL-8 R/B | 981 | 955 | 82.9 | 1435 | CIS | 12/26/1974 |
| 41 | 207 | 23,180 | 3 | SL-8 R/B | 992 | 950 | 82.9 | 1435 | CIS | 7/14/1994 |
| 42 | 204 | 10,138 | 3 | SL-8 R/B | 1001 | 970 | 82.9 | 1435 | CIS | August 7, 1977 |
| 43 | 204 | 13,917 | 3 | SL-8 R/B | 996 | 954 | 82.9 | 1435 | CIS | 3/24/1983 |
| 44 | 198 | 13,719 | 3 | SL-3 R/B | 896 | 791 | 81.3 | 1100 | CIS | 12/14/1982 |
| 45 | 194 | 14,625 | 2 | SL-8 R/B | 999 | 969 | 82.9 | 1435 | CIS | November 1, 1984 |
| 46 | 183 | 20,624 | 2 | COSMOS 2082 | 856 | 833 | 71.0 | 3250 | CIS | 5/22/1990 |
| 47 | 164 | 12,092 | 2 | SL-8 R/B | 996 | 953 | 82.9 | 1435 | CIS | October 12, 1980 |
| 48 | 153 | 9044 | 3 | SL-8 R/B | 988 | 966 | 83.0 | 1435 | CIS | 7/21/1976 |
| 49 | 146 | 12,504 | 2 | COSMOS 1275 | 1014 | 954 | 83.0 | 800 | CIS | April 6, 1981 |
| 50 | 144 | 16,292 | 3 | SL-8 R/B | 996 | 953 | 82.9 | 1435 | CIS | 11/28/1985 |

Figure 10 Liste des débris les plus dangereux
McKnight et al., 2021, p. 289

Cette connaissance produite par les commoneurs globaux et orientée vers le comportement des acteurs, nous proposons de la qualifier de « Behavior-Oriented Knowledge » (BOK).

3.2.2. L'influence de la connaissance sur la régulation et le marché

La BOK joue un rôle important dans la gestion du système polycentrique. Prenons le cas de l'IADC. Cet organisme inter-agence, comparé au GIEC dans le domaine du climat, réunit des experts internationaux dans l'objectif de produire et de partager de nouvelles connaissances sur le phénomène des débris spatiaux. Or un des quatre groupes de travail de l'IADC est consacré à l'élaboration de principes, qui ne sont pas des règles puisque le forum n'a pas pouvoir de régulation, mais qui apparaissent comme une ébauche de règles, destinées à être reprises et traduites par les véritables forums de régulation comme le COPUOS ou l'ISO. Les principes

formulés par l'IADC appartiennent à cette catégorie particulière de connaissance, que nous appelons BOK, qui se situe dans un entre-deux entre la connaissance et la régulation. Dans le mouvement inverse, on peut voir que la production de règles influence le type de connaissance produite, en cadrant le regard que l'on porte sur l'objet de l'étude, en l'occurrence les débris. Cette BOK est également centrale dans les processus de création d'un marché. D'abord, la connaissance est nécessaire pour attirer l'attention des acteurs. Il faut créer du savoir pour expliquer les business models, mais aussi pour réfléchir à la forme que pourrait prendre le marché (on fait des simulations de marché, on produit de la connaissance sur le marché émergent en lui-même, pour convaincre plus largement de sa viabilité). Enfin, il faut produire de la connaissance sur les techniques élaborées par les vendeurs pour montrer leur efficacité. Mais, ce qui est intéressant, c'est que cette connaissance n'était pas produite à l'origine dans le secteur des débris spatiaux. Ce sont les tentatives d'émergence de ce marché qui ont poussé la production de connaissance à se tourner vers l'élaboration de modèles économiques de l'espace. Et cela fonctionne aussi dans le cadre de la régulation : l'apparition du système polycentrique de régulation a suscité des questionnements sur la nature et l'organisation de la gouvernance, ce qui a élargi le spectre de création de connaissances. De manière aussi structurelle, puisqu'on voit de nouveaux acteurs privés s'investir dans la production de connaissances sur le marché. Le sujet intéresse, par exemple, l'OCDE, CONFERS, le WEF, autant que de groupes qui s'intéressent aux intérêts des acteurs privés et qui considèrent les débris comme pouvant faire l'objet d'une opportunité. Dans les deux cas, la connaissance est une condition *sine qua non* à l'autre dimension dont elle conditionne l'existence (il serait impossible d'imaginer un marché ou des règles sans connaissance préalable sur le sujet). La connaissance est orientée vers la production de règles ou l'émergence d'un marché. À l'inverse, la production de règles et la mise en place d'un marché ont un effet sur la définition du périmètre de la connaissance (ajout de nouvelles dimensions de la connaissance, de nouveaux acteurs de la connaissance, de nouveaux lieux de production de connaissance).

Par sa dimension épistémique, la communauté de commoneurs globaux a comme rôle de produire de la connaissance. L'analyse longitudinale d'une conférence internationale sur les débris spatiaux a permis de distinguer quatre types de connaissance sur les problèmes globaux : observable, anticipatoire, opérationnelle et réflexive. Cette connaissance est par

ailleurs orientée vers le comportement des acteurs (*Behaviour-Oriented Knowledge*). Elle permet le fonctionnement du système polycentrique et la production de règles, ainsi que la création d'un marché, et est influencée en retour par chacune de ces dimensions.

4. Un processus de diffusion de la connaissance du problème

Au-delà de la connaissance du commun se pose la question de la connaissance de l'existence du commun. Ces deux dimensions sont très distinctes. Dans le premier cas, il s'agit de comprendre le phénomène pour pouvoir le gérer. Dans l'autre, il s'agit de faire connaître le problème et de le diffuser, en dehors des frontières de la communauté épistémologique-affective des commoneurs globaux.

Le problème des débris spatiaux est particulièrement difficile à saisir cognitivement. En effet, les lois physiques de l'espace extra-atmosphérique diffèrent largement de celles que l'on connaît sur terre. Les objets se déplacent à une vitesse très élevée, ce qui modifie les conséquences des collisions et la manière dont ils se dispersent. Il peut sembler contre-intuitif, par exemple, qu'un débris de la taille d'une bille puisse mettre hors d'usage un satellite de plusieurs tonnes. Du fait des vitesses de déplacement, c'est pourtant bien le cas. De plus, les débris ne sont pas directement visibles, ni les collisions qu'ils engendrent. Pour que le problème soit compris par tous, il est indispensable de (1) le nommer, (2) le montrer, et (3) l'expliquer.

4.1. Nommer le problème

En 1978, à la suite de la publication de l'article fondateur de Kessler et Cour-Palais, un journaliste réalise une interview avec John Gabbard, un membre du NORAD (North American Aerospace Defense Command) qui a collaboré avec Donald Kessler. Pour décrire les résultats de son collègue de la NASA, John Gabbard emploie le terme de « syndrome de Kessler ». Quelques années plus tard, Jim Schefter reprend le terme dans un article publié dans *Popular Science* (Schefter 1982). Il y décrit le syndrome de Kessler comme « *a moving layer of space garbage whose flotsam can lead to disastrous collisions in orbit* ». Il ajoute : « *that effect [“a rain-down effect of debris in orbit”] is unofficially dubbed the Kessler Syndrome by the growing number of experts concerned about the hazard* ». Effectivement, le terme n'est pas utilisé officiellement par les scientifiques ou les experts pour évoquer le phénomène. Il

n'apparaît dans des publications scientifiques qu'à partir des années 2010, surtout dans des articles allemands, pour désigner le phénomène de collisions en chaîne (Krag et al. 2011). Kessler lui-même, bien qu'il prenne soin de mettre en garde contre les utilisations parfois détournées du terme, explique : « *[R]egardless of the source, the label stuck, becoming part of the storyline in some science-fiction, and a three-word summary describing orbital debris issues.* »²⁵. Chaque terme de cette expression est surprenant. D'abord, Kessler parle de trois mots (*three-word summary*) alors qu'on ne voit que deux mots dans l'expression ("Kessler Syndrome"). Ce terme même de sommaire (*summary*) suggère que le syndrome de Kessler serait alors un résumé, un renvoi vers un phénomène plus large. Mais le mot suivant évoque une description (*describing*) et renvoie à un rôle descriptif, ce qui semble cohérent avec l'explication que donne Kessler sur son site où il explique que « *The "Kessler Syndrome" was meant to describe the phenomenon that random collisions between objects large enough to catalogue would produce a hazard to spacecraft from small debris that is greater than the natural meteoroid environment.* » Le terme *issues* est également surprenant dans sa forme plurielle. Il n'y aurait donc pas un seul problème associé aux débris spatiaux, mais plusieurs. Enfin, le choix du mot « syndrome » attire également l'attention. Selon le Trésor de la Langue Française Informatisé (TLFI), le mot recouvre plusieurs unités de sens. Il désigne d'abord une maladie ou un ensemble de symptômes permettant d'établir un diagnostic. Mais le « syndrome » peut également renvoyer à « *l'ensemble de signes, de comportements qui révèlent, manifestent un état d'esprit, une manière de penser, une certaine manière d'agir que présente une personne, un groupe, une collectivité* ». Dans le premier sens, l'augmentation des collisions entre objets artificiels serait le signe d'un phénomène problématique, peut-être la maladie elle-même. Dans le second sens, le syndrome de Kessler désignerait le comportement même des débris et plus particulièrement leur tendance à entrer en collision les uns avec les autres. Au sens figuré, donc, les objets « débris » sont placés au cœur de l'action, comme les personnages principaux du problème, qui partagent entre eux un mécanisme particulier (la collision). C'est ce syndrome qu'il faut essayer d'endiguer, de maîtriser, après l'avoir compris et suffisamment décrit.

Il est difficile de saisir avec précision ce que le syndrome de Kessler recouvre exactement. En revanche, on voit qu'il a joué un rôle central dans la diffusion et la médiatisation du problème, puisqu'il a été largement repris dans la culture populaire pour qualifier le phénomène de la

²⁵ Kessler website, march 2009 <https://aquarid.physics.uwo.ca/kessler/KesSym.html> , non-souligné dans l'original

multiplication des débris. Il joue le rôle d'un mot-clé, ou d'expression qui s'est installée dans le langage courant et a été centrale dans la diffusion du problème.

4.2. Montrer le problème

L'accélération du problème en orbite conduit également à la construction de nouveaux modes de représentation des débris spatiaux, également destinés au grand public, et qui se déploient à travers la fiction et à travers les médias. Une série de manga japonais appelée *Planètes*, écrit et dessiné par Makoto Yukimura et paru entre 1999 et 2004 au Japon puis traduit en français à partir de 2002, raconte les aventures d'un équipage d'astronautes spécialisés dans le nettoyage de débris spatiaux en 2075, métier aussi ingrat que dangereux. En 2008 sort le film d'animation *Wall-E*, dans lequel on voit le vaisseau spatial transportant le robot Eve traverser une ceinture de déchets pour sortir de l'atmosphère terrestre. La présence de ces débris est utilisée ici pour souligner l'état de déliquescence dans lequel les hommes ont abandonné la planète Terre, jonchée de déchets, laissant à un petit robot le soin de tout nettoyer. Cinq ans plus tard, le réalisateur Alfonso Cuarón reprend la thématique des débris pour son film *Gravity*, dans lequel il met en scène un équipage d'astronautes américains à bord d'une station spatiale dont la vie est mise en péril par un nuage de débris spatiaux. Ces deux films participent fortement à la médiatisation du problème auprès du grand public. Les débris spatiaux y font leur apparition à l'écran, où ils sont représentés comme des détritrus ou un danger mortel, utilisés comme un ressort dramatique inspiré du syndrome de Kessler, et une métaphore du danger. Dans une interview, le réalisateur mexicain explique : « *We use the debris as a metaphor for adversity. [The main character] lives in her own bubble, and in the film, she's trapped in her space suit.* »²⁶.

²⁶ <https://www.wired.co.uk/article/centre-of-gravity>

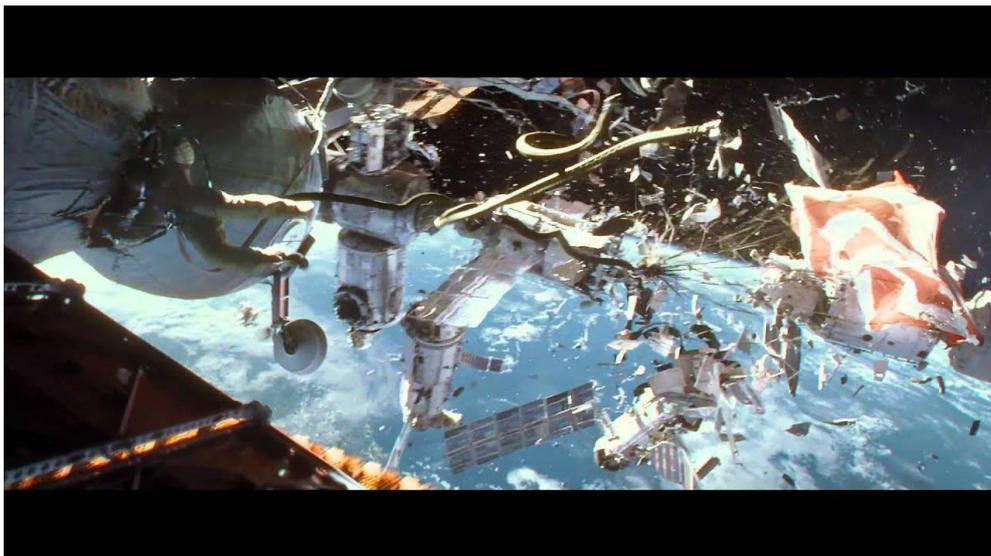


Figure 11 Extrait du film Gravity

En 2020, l'écrivain français Jean Echenoz publie un roman aux Éditions de Minuit, *Vie de Gérard Fulmard*, qui s'ouvre par la chute d'un débris spatial soviétique sur un centre commercial du seizième arrondissement de Paris.

Si les débris sont montrés dans des œuvres de fiction auxquels ils servent de supports métaphoriques, ils font également l'objet d'une représentation graphique « scientifique ». Lorsque le problème est évoqué dans un contexte de valorisation scientifique ou à des fins de communication avec un large public, les débris spatiaux sont souvent représentés graphiquement par de petits points blancs, répartis autour du globe terrestre comme une nuée d'insectes. Ci-dessous, les graphiques présentés sur le site de la NASA pour les orbites basses (à gauche), et pour les orbites basses et géostationnaires (à droite).

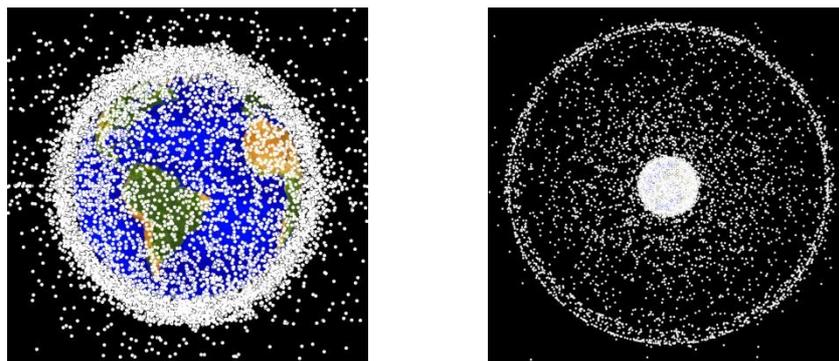


Figure 12 Représentation graphique des débris spatiaux

Crédit: NASA ODPO. Source : NASA Website.

L'échelle des points blancs a été modifiée : « *The orbital debris dots are scaled according to the image size of the graphic to optimize their visibility and are not scaled to Earth. These images provide a good visualization of where the greatest orbital debris populations exist.* » (Source : NASA website). Les débris ne seraient pas visibles si on les représentait à leur échelle véritable. Ils ne peuvent toujours pas être montrés et doivent faire l'objet d'une « visualisation ». Or ce grossissement des points entraîne une confusion sur la nature du problème. À voir les graphiques, on pourrait penser qu'il s'agit d'un problème d'espace disponible sur les orbites. Or, ce n'est pas une question de place en soi, puisque l'espace est très vaste, mais plutôt un problème de comportement des débris, c'est-à-dire du fait qu'ils se déplacent et peuvent se rencontrer ou rencontrer des satellites actifs.

4.3. Expliquer le problème

Au cours de notre enquête, nous nous sommes aperçus de l'utilisation récurrente d'analogies et de métaphores pour évoquer le thème des débris spatiaux. L'espace extra-atmosphérique est l'objet, depuis le début de son exploration, d'analogies récurrentes avec d'autres communs globaux comme les océans, l'espace aérien et l'Antarctique (Peterson 1997). Pour décrire le problème des débris, les personnes que nous avons rencontrées continuent de se référer à ces champs analogiques, tout en parlant des débris comme d'un problème environnemental, d'un problème « transfrontalier » et d'un problème de gestion des déchets. Notre analyse a également permis de mettre en évidence le recours à plusieurs métaphores comme le Far West et l'automobile. Elles permettent de penser le problème dans son ensemble et sa complexité et d'imaginer de nouvelles solutions à mettre en œuvre. Les métaphores et les analogies jouent un

rôle important dans la structuration et l'émergence du problème des débris spatiaux car elles permettent de catégoriser le problème en le rattachant à des champs existants, et donc à transposer des solutions déjà éprouvées ailleurs (exploitation), tout en permettant aux acteurs d'imaginer des solutions innovantes (exploration)²⁷.

4.4. Adapter le discours

« Syndrome de Kessler », représentations visuelles du problème, recours aux analogies et aux métaphores, tous ces mécanismes permettent la diffusion du problème des débris spatiaux en dehors des frontières de la communauté. Ils jouent un rôle essentiel dans la médiatisation du problème :

« C'est grâce à la médiatisation du problème que les choses ont bougé, et non par une démonstration scientifique de la gravité du problème. Dans la presse, ils ont essayé de lancer des messages plus alarmistes, comme le danger que ça peut représenter pour le réseau de téléphonie, les GPS etc. C'était peut-être un peu exagéré par rapport à la situation réelle, mais les gens ont commencé à prendre conscience du problème. »

[Ingénieur firme]

Ce verbatim soulève un point essentiel sur l'évaluation du risque qui se retrouve jusque dans le débat politique. Un rapport d'information déposé à l'Assemblée Nationale française (n°4991, février 2021²⁸) propose de « promouvoir une « culture du risque » dans l'économie spatiale et auprès des citoyens », comme dans le cadre d'industries dangereuses, pour « améliorer la résilience des individus et des industries en cas de crise, pour mieux assurer leur sécurité » (recommandation numéro 12). L'idée de montrer le risque social pour les individus et de le mettre en pleine lumière est ici parfaitement assumée.

Mais comment décider de la teneur du discours ? Faut-il tenir un discours alarmiste pour faire réagir, quitte à exagérer ? Si *Gravity* rend le risque de collision entre satellites très tangible, le film contient, à l'image de la plupart des films hollywoodiens dont l'intrigue se déroule dans

²⁷ Cette réflexion est présentée dans l'Article 3 de cette thèse (Toussaint, 2021).

²⁸ https://www.assemblee-nationale.fr/dyn/15/rapports/cion_afetr/115b4991_rapport-information

l'environnement extra-atmosphérique, de nombreuses approximations²⁹. Pour certains experts, le risque associé aux débris spatiaux est assez éloigné de la réalité :

« Mais l'espace est vachement vide ! Pourquoi fait-on un pataquès avec cette histoire de débris ? On n'est pas dans le film américain où l'on voit des débris partout. En règle générale, on a très peu de chance de tomber sur un débris. » [Ingénieur firme]

Cette dualité d'approches, entre diagnostic réaliste et exagération nécessaire à la prise de conscience des parties prenantes, interroge sur l'évaluation générale du risque. Les acteurs ne s'accordent pas sur le degré d'urgence lié au problème. Il faut noter que les avis dissonants sur cette question ne viennent pas d'acteurs extérieurs, comme de décideurs politiques ou de firmes récalcitrantes à participer à l'effort collectif : ils sont le fait d'experts scientifiques placés au centre des communautés scientifiques concernées.

« Le narratif des experts en disant que tout est catastrophique, ce n'est pas vrai. La situation n'est pas catastrophique. L'espace est très grand, très vide, il faut rester la tête sur les épaules. Il faut faire un diagnostic réaliste, je ne suis pas en mode panique. »
[Expert agence]

Montrer la gravité des implications sociales, environnementales, économiques et scientifiques que pourrait engendrer le déclenchement d'un syndrome de Kessler est perçu comme un moyen de mobiliser les acteurs et sensibiliser le grand public. Ce mécanisme semble relever d'une sorte de contre-utopie, dans laquelle il n'est pas question de susciter l'engouement du public ou des organisations (Ntsondé, Aggeri 2022), mais plutôt d'amplifier les potentiels scénarios catastrophes, au risque de renforcer l'ambiguïté du phénomène.

Le rôle des commoneurs globaux consiste également à « faire connaître » le problème, et donc à diffuser la connaissance du problème en dehors des frontières de leur propre communauté. Dans le cas des débris spatiaux, cela peut concerner le secteur spatial mais également le grand public. Cette diffusion procède de plusieurs mécanismes : il faut d'abord

²⁹ Pour une présentation des erreurs scientifiques, voir la vidéo réalisée avec l'astronaute Mike Massimino (« What George Clooney did wrong in Gravity ») <https://www.youtube.com/watch?v=8JU9jbKJNTM>

réussir à nommer le problème, à le représenter visuellement donc à le montrer, et enfin à l'expliquer. La construction du discours oscille entre un besoin de visibilité et une possible exagération du risque réel.

Conclusion du Chapitre 6.

La gestion d'un problème global et complexe relève des trois dimensions explorées dans les Chapitres 3, 4 et 5, c'est-à-dire d'une gestion par les règles, même si elles ne proviennent pas d'une autorité centrale, par le marché, même s'il ne consiste pas en l'établissement de droits de propriété, par le commun, même si les critères ostromiens d'une gestion de la ressource ne peuvent s'appliquer tels quels. Le concept de *commoning* global, proposé dans cette thèse, permet d'articuler ces trois dimensions et de qualifier le mode de gestion observé dans le cas des débris spatiaux. Le *commoning* global désigne un processus social de gestion collective d'un problème complexe orchestré par une communauté épistémologique-affective d'experts et qui repose sur la gestion d'un système polycentrique, sur la production de connaissance orientée vers le comportement des acteurs et sur la diffusion de la connaissance du problème. Inspiré des nouveaux concepts des théories des communs comme le *commoning* et le polycentrisme, le *commoning* global a la particularité de placer les individus au centre de l'analyse de phénomènes empiriques souvent analysés sous l'angle institutionnel, en soulignant la dimension émotionnelle de leur relation au problème.

Résumé du Chapitre 6.

La littérature propose trois grands modes de gestion d'un problème complexe d'échelle planétaire : l'étatisation, la privatisation de la ressource ou la gestion en commun. Les chapitre précédents ont montré que le problème des débris spatiaux n'était aujourd'hui véritablement géré par aucune de ces solutions. Pourtant, les acteurs impliqués s'inspirent de ces différentes dimensions sur lesquelles ils s'appuient pour réguler, tenter de créer de nouveaux marchés et pour penser le problème de manière collective. En avançant la notion de *commoning* global, ce chapitre décrit le processus social d'organisation qui a émergé autour du problème des débris spatiaux. On observe qu'une petite communauté hétérogène d'acteurs, liés entre eux par l'affect qu'ils ont vis-à-vis du problème, joue un rôle central dans l'action collective. Ils permettent notamment de coordonner le système polycentrique en circulant entre les centres d'émission de règles, dans lesquels ils se positionnent tantôt au premier plan, tantôt à l'arrière-plan. Ils sont également en charge de la production de la connaissance, qui revêt divers statuts (observable, anticipatoire, opérationnelle, réflexive) mais qui est toujours fortement orientée vers l'action sur les comportements (*Behavior Oriented Knowledge*). Enfin, ils oeuvrent non seulement à mieux connaître le problème lui-même, mais également à mieux le faire connaître en dehors des frontières de leur communauté.

Chapitre 7 – Discussion, contributions, limites et futures voies de recherche

Les analyses empiriques et théoriques qui composent les chapitres de cette thèse permettent de formuler des résultats originaux par rapport à la gestion d'un problème complexe d'échelle planétaire. Celle-ci repose sur un processus social impliquant plusieurs modes de gestion. Ce chapitre propose une synthèse des résultats (1), avant de revenir sur les différentes contributions théoriques, méthodologiques et empiriques de cette thèse (2) et de conclure sur les limites et les futures voies de recherche (3).

1. Synthèse des résultats et discussion

Cette première section vise à synthétiser les résultats de l'analyse présentés au cours des chapitres précédents. La gestion d'un problème global relève d'un processus complexe et émergent, qui ne peut pas être envisagé sous un angle unique. Un premier résultat de cette thèse est d'avoir mis en avant les différentes dimensions du problème et la manière dont elles ont émergé, ainsi que la diversité des modes de gestion utilisés pour y faire face (1.1). La thèse explore ensuite plusieurs dimensions de ces modes de gestion. D'abord, elle montre que la gestion du problème repose d'abord sur la mise en place d'un système polycentrique, organisé autour de centres de régulation variés qui produisent des règles diverses, et qui est coordonné à travers plusieurs mécanismes (1.2). Un autre ensemble de résultats concerne l'émergence d'un nouveau marché d'intérêt collectif, qui suscite un ensemble de stratégies d'acteurs et un jeu dynamique entre plusieurs catégories de marché (1.3). La thèse montre également le rôle central joué par les communautés d'experts, que l'on décrit comme des commoneurs globaux, dans la gestion du problème et notamment dans la production de connaissance (1.4). Cette connaissance est au cœur de la gestion de problèmes complexes et vise à orienter le comportement des acteurs, tout en prenant des formes variées (1.5).

| Catégorie | Description des résultats | Correspondance |
|------------------------------|--|----------------------------------|
| Complexité du problème (1.1) | La mise en évidence des différents modes de gestion du problème / tentatives de catégorisation du problème | Article 1, Article 3, Chapitre 2 |
| Régulation (1.2) | La description d'un système polycentrique avec une diversité de forums et de règles produites Le fonctionnement du système polycentrique (circulation des règles et des individus entre les forums, des acteurs au sein des forums) | Chapitre 3, Chapitre 6 |
| Marché (1.3) | Les différentes stratégies d'émergence d'un marché (activistes, participants, attentistes) | Chapitre 4, Article 2 |
| | Les dynamiques des catégories de marché | Chapitre 4, Article 4 |
| Communs (1.4) | L'existence de commoneurs globaux qui participent activement à la gestion du problème et sont producteurs de connaissance | Chapitre 5, Chapitre 6 |
| Connaissance (1.5) | Les catégories de connaissances produites sur des problèmes globaux (observable, opérationnelle, anticipatoire, réflexive) | Chapitre 6 |
| | La distinction entre trois modes de diffusion de la connaissance (montrer, nommer, expliquer). | Chapitre 6 |

Tableau 22 Synthèse des principaux résultats de la thèse

1.1. Le processus complexe de catégorisation d'un problème complexe d'échelle planétaire

Comme les problèmes environnementaux (Raulet-Croset 1998), le cas des débris spatiaux appartient à une catégorie de situations particulièrement difficiles à cadrer, impliquant des parties prenantes hétérogènes qui envisagent le problème sous des angles différents. De plus, le phénomène empirique est particulièrement incertain et évolue rapidement, ce qui rend sa compréhension et son cadrage d'autant plus difficile. À travers trois approches méthodologiques, une narration-description, la construction de scénarios et une analyse

linguistique, cette thèse propose de mettre au jour le processus de catégorisation d'un problème complexe d'échelle planétaire.

D'abord, le Chapitre 2 de la thèse présente une analyse narrative et descriptive du problème, qui permet de montrer que les débris spatiaux ont fait l'objet d'une succession de points de vue de la part des acteurs. Ce problème a d'abord été conçu comme un objet d'étude scientifique, puis comme un objet de régulation, avant de revêtir le statut d'objet de gestion global, et finir par apparaître comme une source d'opportunité économique. En complément de cette approche par succession de points de vue et de points de basculement, le problème est également envisagé sous l'angle de scénarios de gestion (Article 1). La construction de ces scénarios a permis la mise en évidence des caractéristiques principales du problème et des modes de gestion importants, comme la régulation, publique et privée, et le marché, publique ou classique. Enfin, l'Article 3 propose d'appréhender la catégorisation du problème d'une manière encore différente, à travers l'analyse des figures de style utilisées par les acteurs pour évoquer le problème auquel ils sont confrontés. Leur discours révèle un phénomène de catégorisation au regard d'autres types de problèmes (environnementaux, de déchets, de trafic). Il résulte d'un jeu d'association et de distinction avec d'autres situations similaires.

La thèse a permis de mettre en évidence le processus de catégorisation ou de cadrage d'un problème complexe global, à travers une narration-description, la construction de scénario, et une analyse linguistique. Cette analyse permet d'atteindre une vision synoptique de l'objet de recherche, de tourner autour du problème et d'en révéler le caractère multiple et changeant. En effet, le cas ne peut pas être abordé à travers une seule de ces approches mais doit être compris comme une combinaison de ces différentes dimensions. Le cas des débris a ensuite été exploré à travers trois grands modes de gestion proposés par la littérature : la gestion par le marché, la gestion par l'État et la gestion par les communs (Chapitres 3, 4 et 5). Leur étude permet de formuler plusieurs séries de résultats qui sont présentées dans les sections suivantes.

1.2. La coordination du système polycentrique

La thèse met en évidence un système de régulation dans lequel les règles ne sont pas produites de manière centralisée mais distribuées entre plusieurs forums. Cette description correspond à un système polycentrique (McGinnis 2016). Les forums sont animés par des acteurs divers, comme des agences, des États, des firmes, ou un ensemble mixte d'acteurs, et produisent des règles de nature variée relevant à la fois du droit national, international, mais aussi de la

régulation privée, et en intégrant des formes de co-régulation entre acteurs publics et privés (Chapitre 3). L'ensemble de ces forums et de ces règles, qui cohabitent de manière complémentaire, forment un système particulièrement complexe.

Une partie de la thèse s'est attachée à comprendre la manière dont cet ensemble était concrètement coordonné. D'abord, on observe une circulation des règles entre les forums. Les forums de régulation reprennent, modifient, combinent, des textes existants, selon un processus qui peut s'assimiler à un effet de cliquet (Duesenberry 1949), mais qui n'est pas exactement linéaire. Les différentes règles apparaissent plutôt comme des traductions les unes des autres (Chapitre 3).

Ensuite, les forums comportent un premier-plan, avec des membres officiels, et un arrière-plan, sur lequel se positionnent des observateurs, présents de façon plus ou moins officielle, et qui jouent un rôle plus ou moins actif. Les forums ne fonctionnent donc pas de manière indépendante les uns des autres, mais l'information circule entre eux, grâce à la présence d'observateurs (Chapitre 6).

Enfin, on observe qu'entre ces centres circulent des individus, en chair et en os. Ce ne sont pas seulement les mêmes acteurs, institutionnels ou organisationnels, qui sont représentés dans les différents forums, mais des individus qui s'y retrouvent et partagent des liens sociaux étroits (Kogut 2012). Parfois, ils peuvent même incarner plusieurs rôles institutionnels à eux seuls. (Chapitre 6).

Cette thèse décrit donc non seulement la manière dont le système polycentrique est géré (des centres organisés par les différentes parties prenantes, qui produisent des normes variées), mais aussi la manière dont le système polycentrique est coordonné (par la circulation des règles, par la distinction entre un premier et un arrière-plan au sein des forums, par la coordination d'individus appartenant à une même communauté épistémique).

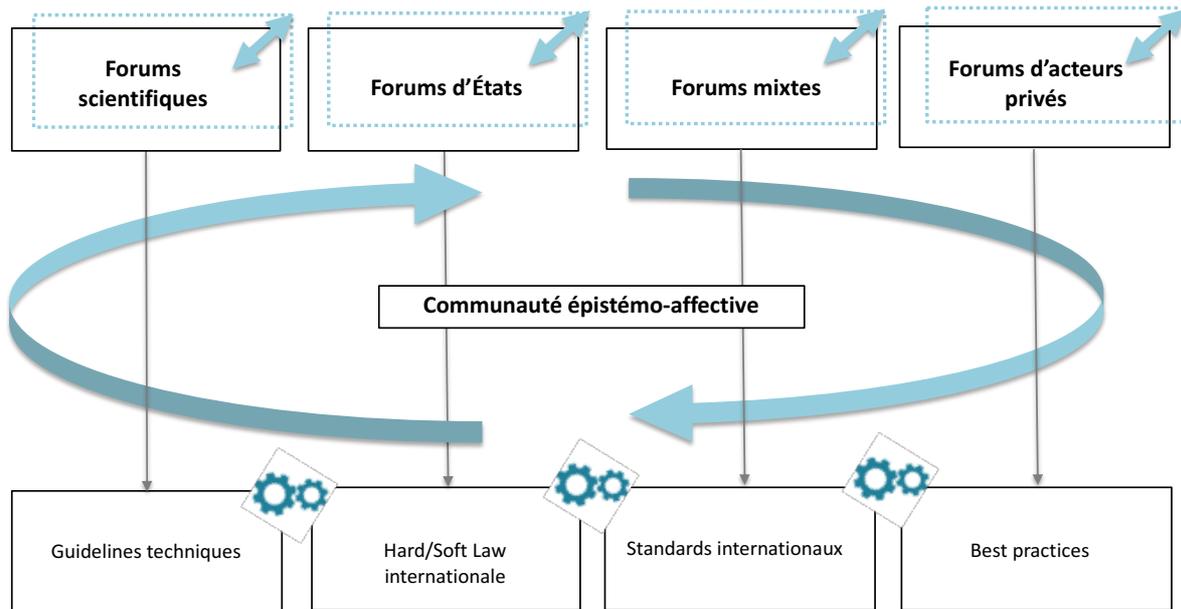


Figure 13 Modèle de gestion du système polycentrique dans un problème global

1.3. Les stratégies de *market fashioning* et la dynamique entre les différentes catégories de marché

La création d'un marché peut également être envisagée comme la solution à la gestion d'un problème global (Geiger et al. 2014). Dans le cas des débris, la thèse a analysé les différentes tentatives d'établir un marché d'intérêt collectif (Frankel, Ossandón, Pallesen 2019).

D'abord, l'analyse de ce processus permet de mettre au jour trois grandes stratégies d'acteurs par rapport à la création de marché. Certains acteurs placent la création de marché parmi leurs principaux objectifs, et adoptent une attitude d'activistes. C'est par exemple le cas de la startup Astroscale, à laquelle ce travail doctoral a consacré une étude de cas (Article 2). Ces activistes initient des processus dynamiques d'entrepreneuriat institutionnel dans l'objectif de créer un marché des débris spatiaux (Scott 2013), dont un des objectifs est la création d'un marché des débris. D'autres acteurs participent à l'effort du création de marché, sans en faire leur priorité. D'autres enfin préfèrent adopter une approche plus prudente, attendant que le marché soit en place pour faire les investissements nécessaires. Ces trois stratégies semblent complémentaires, certains acteurs pouvant passer de l'une à l'autre (Chapitre 4).

Notre analyse a également montré l'existence d'une dynamique entre plusieurs catégories de marché, qui sont similaires sur un plan technique mais distinctes sur un plan économique (Article 4, Chapitre 4). En voulant étudier l'évolution des différents projets d'Active Debris

Removal, nous avons en effet constaté la proximité de ces projets avec la notion d'On-Orbit Servicing, qui constitue une autre catégorie de marché plus développée. L'Article 4 propose une analyse croisée de l'évolution de ces deux catégories de projets et montre comment elles peuvent à la fois être envisagées distinctement ou dans le prolongement l'une de l'autre.

Le marché potentiel du nettoyage de l'espace présente un cas particulièrement intéressant d'un marché d'intérêt collectif en phase d'émergence. Son analyse permet de distinguer plusieurs stratégies d'acteurs (Ahrne, Aspers, Brunsson 2015) et de mettre en évidence les différentes articulations possibles entre plusieurs catégories de marché. De plus, le processus de catégorisation n'est pas linéaire. Là, on hésite entre deux possibilités (faire apparaître l'ADR comme un segment de l'OOS, ou distinctement), et ce choix a des conséquences stratégiques sur l'émergence du marché. Autrement dit, les acteurs procèdent à ce que Abbott appelle un « yoking » (« *connection of two or more proto-boundaries such that one side of each becomes defined as "inside" the same entity* », Abbott, 1995, p. 871), c'est-à-dire l'assemblage entre plusieurs entités. Le yoking peut prendre plusieurs formes, selon que le contexte social est plus ou moins institutionnalisé et structuré, et créer de nouvelles entités par l'assemblage de plusieurs, ou en divisant des entités existantes.

1.4. Le rôle de la communauté de commoneurs globaux

Les problèmes complexes à l'échelle planétaire sont le plus souvent envisagés au niveau institutionnel et organisationnel. C'est dans cette perspective qu'ont d'ailleurs été menés les premiers entretiens. Cependant il est rapidement apparu que les individus que nous rencontrions n'étaient pas seulement des représentants de leurs organisations respectives, mais qu'ils se connaissaient particulièrement bien entre eux et formaient une communauté. De plus, quoique physiquement et cognitivement éloignés du phénomène empirique, nous nous sommes aperçus que les membres de cette communauté entretenaient une relation étroite et teintée d'émotion avec le problème des débris spatiaux.

Ces observations nous ont amené à qualifier ces individus de commoneurs globaux. Comme les commoneurs, ils se rassemblent au sein de communauté qui partage une culture commune avec des rites, des mythes et des tabous et qui, dans ce cas, revêt une dimension épistémique (Cross 2013; Haas 1992). Comme les commoneurs, ils partagent un fort affect vis-à-vis de la ressource qu'ils protègent (Singh, 2017). Comme les commoneurs, ils sont en charge de la production de règles collectives autour du problème, en l'occurrence de la gestion du système

polycentrique de règles (McGinnis, 2016). Enfin, comme les commoneurs, ils exercent une activité de production. Seulement, dans le cas des débris spatiaux, cette production ne concerne pas la ressource en elle-même (ici, les orbites terrestres), mais les savoirs qui permettent la gestion du problème.

1.5. La production d'une connaissance sur les problèmes globaux

Cette thèse porte donc également sur le processus de production de connaissance qui accompagne nécessairement l'émergence de problèmes complexes à l'échelle globale. À partir de l'étude longitudinale d'une conférence internationale, nous avons pu montrer que la connaissance produite sur un problème comme les débris spatiaux prend des formes différentes, et que chacune de ces formes joue un rôle particulier dans la gestion du problème.

Ainsi, la connaissance porte sur la description et la compréhension du phénomène (connaissance observable), mais aussi sur l'anticipation de son évolution (connaissance anticipatoire). Elle peut également envisager les modes de résolution du problème (connaissance opérationnelle), ou porter sur la nature même du problème (connaissance réflexive). Ces quatre catégories semblent pouvoir être répliquées dans d'autres problèmes similaires, par exemple dans la question de la pollution plastique.

Un résultat sur la connaissance est le constat que cette connaissance, produite par les membres de la communauté de commoneurs, est dirigée vers la gestion du problème (« Behavior Oriented Knowledge »). Elle permet de comprendre un phénomène pour mieux l'éviter ; de pouvoir l'anticiper pour permettre l'action ; de développer des technologies pour faire émerger un marché ; et, enfin, de comprendre la nature du problème pour faire face à la fermeture des communautés et pour imaginer d'autres registres de lecture du problème.

Par ailleurs, il ne s'agit pas seulement de créer de la connaissance sur le problème, mais également de faire connaître le problème. On distingue donc plusieurs mécanismes de diffusion du problème, qui passent notamment par le fait de le nommer, de le montrer, de l'expliquer (Chapitre 6).

2. Contributions

À partir des principaux résultats de la thèse, qui viennent d’être présentés, émergent différentes contributions. Elles sont de nature théorique (2.1), méthodologique (2.2) et managériale (2.2).

2.1. Contributions théoriques

Ce travail doctoral contribue, dans un premier temps, aux théories des communs. En nous appuyant sur les différents courants de cette vaste littérature, nous avons procédé à une analogie du problème des débris spatiaux avec les communs globaux (Buck 2017) ainsi qu’avec les principes d’une gestion en commun (McGinnis, Ostrom 1996). Cette analyse nous permet de distinguer parmi trois approches du concept de commun : le commun comme un type de ressource, le commun comme type de problème d’action collective, et le commun comme un mode de gestion (Chapitre 5). Ces trois catégories paraissent proches et se chevauchent dans la plupart des cas. Pourtant, elles impliquent des conceptions de la notion de commun fondamentalement différentes. Ainsi, un problème peut porter sur une ressource qui peut être caractérisée comme un commun, en l’occurrence globale, et relever d’un problème d’action collective de type commun, sans pour autant être géré en commun. Cette distinction semble nécessaire pour naviguer au sein de la littérature et des acceptions parfois très variées de la notion de commun.

Ensuite, la thèse s’est concentrée plus particulièrement sur deux concepts plus récents issus de cette littérature : le polycentrisme et le *commoning* (Peredo et al., 2020). Elle entend contribuer à la littérature sur ces deux notions de plusieurs manières. D’une part, elle vise à enrichir les travaux sur la notion de polycentrisme. En approchant cette notion du point de vue organisationnel, et en confirmant son intérêt dans une perspective gestionnaire (Patala, Albareda, Halme 2022), nous mettons en évidence les mécanismes de coordination utilisés pour gérer et animer le système de production de règles. Ce faisant, nous soulignons que l’importance d’aborder les systèmes polycentriques non pas seulement au niveau institutionnel (Aligica, Tarko 2012), mais également à l’échelle des individus impliqués dans sa gestion. D’autre part, la thèse contribue à enrichir la littérature sur le concept de *commoning*, en montrant l’intérêt de transposer cette notion habituellement appliquée à des cas empiriques locaux et à des communautés d’individus ancrés territorialement, à des problèmes complexes qui se déploient à l’échelle globale. Cette transposition nous permet d’avancer un nouveau

concept, que nous qualifions de *commoning* global, et qui désigne un mode de gestion caractéristique d'un problème complexe d'échelle planétaire en cours d'émergence. Ce mode de gestion implique la présence d'un nouveau type de commoneurs, qui ne sont plus des individus personnellement concernés par la protection d'une ressource locale, mais également des experts ou professionnels impliqués dans la gestion d'un problème global. À partir de ces contributions, un dialogue s'établit entre ces deux concepts jusqu'ici pensés de manière distincte. L'étude des commoneurs globaux permet en effet d'éclairer la manière dont se forme et est coordonné un système polycentrique. À l'inverse, la participation à la gestion du système polycentrique apparaît comme une des principales caractéristiques du *commoning* global.

Cette thèse contribue également à la littérature en gestion sur les *grand challenges*, problèmes complexes, incertains et évaluatifs (Ferraro, Etzion, Gehman 2015). D'abord, elle propose d'explorer un nouveau cas empirique de *grand challenge*, en traitant le problème des débris spatiaux dans son ensemble. En cela, nous répondons à l'appel de Joel Gehman, Dror Etzion and Fabrizio Ferraro Gehman (2022) pour une décentralisation de l'objet de la recherche, quitte à se confronter à des contextes empiriques « poreux et diffus ». Par ailleurs, la thèse fait écho à plusieurs dimensions de littérature mobilisée sur les *grand challenges*, par exemple, sur l'utilisation de l'analyse de figures de style pour comprendre le processus de catégorisation des problèmes et les actions des acteurs (Schoeneborn, Vásquez, Cornelissen 2022). Enfin, la thèse souligne l'importance d'introduire le niveau individuel dans l'analyse des *grand challenges*. Comprendre les dynamiques des communautés d'individus et leur relation au problème a un impact direct sur la manière dont les problèmes sont gérés. Plus particulièrement, ces travaux suggèrent l'importance de l'émotion dans la gestion de ces problèmes globaux. Si elle n'est pas souvent mobilisée dans les travaux sur les *grand challenges*, cette dimension est décrite comme pouvant occuper une place importante dans la recherche en management, de manière plus générale (Kouamé, Liu 2021; Zietsma et al. 2019). Ce « tournant émotionnel » semble pouvoir jouer un rôle important dans l'étude de problèmes globaux (González-Hidalgo, Zografos 2020) et notamment dans l'émergence de nouveaux dispositifs institutionnels (Farny, Kibler, Down 2019).

Enfin, cette thèse contribue également au champ des *market studies*, et plus particulièrement à l'axe de recherche qui porte sur l'émergence des marchés. L'analyse de l'émergence d'un marché des débris spatiaux permet notamment de proposer une traduction empirique du concept de *market fashioning* telle que proposée par Aspers et al. (2020). On avance également une nouvelle approche des *organiseurs* du marché, différente de celle de Ahrne et al. (2015) en

ce qu'elle porte non seulement sur les rôles des acteurs, mais aussi sur leurs stratégies respectives. Enfin, la thèse contribue à la littérature qui envisage l'émergence des marchés à travers des catégories ou des systèmes conceptuels (Granqvist, Grodal, Woolley 2013; Navis, Glynn 2010), en montrant que l'articulation entre plusieurs catégories aux frontières floues peut jouer un rôle stratégique dans l'apparition de nouvelles activités économiques.

| Champs de littérature | Description de la contribution |
|--|--|
| Théorie des communs | Proposition d'une grille de lecture des différentes significations du commun (ressource, problème, mode de gestion) Transposition du <i>commoning</i> à l'échelle globale et proposition du nouveau concept de <i>commoning</i> global Enrichissement de la notion du polycentrisme et de ses mécanismes de coordination. Établissement d'un lien entre <i>commoning</i> et polycentrisme |
| <i>Grand challenges</i> | Mise en évidence de l'importance du niveau d'analyse individuel dans l'étude de problèmes globaux Introduction de la dimension émotionnelle |
| Market studies (<i>market fashioning</i> et catégories de marché) | Proposition d'une analyse empirique du concept de <i>market fashioning</i> Élargissement de la typologie des organisateurs de Ahrne & Brunsson Mise en évidence de dynamiques entre catégories de marché au cours de l'émergence |

Tableau 23 Synthèse des principales contributions théoriques de la thèse

2.2. Contributions méthodologiques

Cette thèse propose également des contributions méthodologiques à plusieurs niveaux. Elle contribue à la réflexion sur les méthodologies mobilisables pour étudier des *grand challenges* (Eisenhardt, Graebner, Sonenshein 2016; Jarzabkowski et al. 2019b). Elle montre l'intérêt d'une démarche flexible, dans laquelle le design de recherche n'est pas déterminé de manière préalable mais s'adapte au fil de la recherche. Plusieurs niveaux d'analyse et plusieurs

approches théoriques sont articulés. Ces méthodologies flexibles s'appuient sur les processus d'exploration et d'inspection avancés par Blumer (Blumer 1986; Dumez, Toussaint 2022). Cette approche permet d'atteindre une compréhension synoptique des enjeux du phénomène empirique.

Elle contribue également à la réflexion, dans le champ des *grand challenges*, sur la question de l'échelle du cas sélectionné. Ces problèmes empiriques étant particulièrement complexes, traiter un problème global (par exemple, la pollution plastique dans les océans, la pollution atmosphérique) dans son ensemble semble particulièrement ardu, voire impossible. Une solution consiste à se concentrer sur une seule dimension de ces problèmes ou de choisir un cas situé à une échelle plus locale, au risque de perdre la dimension globale qui fait la singularité de ce type de problèmes. La thèse propose l'étude d'un cas qui se situe bien à l'échelle globale, mais dont les frontières sont suffisamment définies et la communauté des parties prenantes suffisamment restreinte pour qu'il soit possible de l'étudier dans son ensemble. Il semble que ce type de cas constitue une solution particulièrement adaptée méthodologiquement à l'étude de ce type de phénomène empirique.

Par ailleurs, cette thèse contribue également à approfondir l'articulation entre les méthodes de la narration et de la description. La première porte sur la description d'un état, la seconde relate un changement, et toutes deux se combinent : « *On peut imaginer que la narration au sens large commence donc par la description de l'état initial, se termine par celle de l'état final, et qu'elle se concentre au sens étroit, sur le processus de changement qui mène du premier au second* » (Dumez, 2021, p. 154). Dans cette thèse, nous proposons une manière originale de combiner description et narration. Il s'agit d'abord d'adopter une approche narrative par séquences, construites à partir de chronologies et autour de points de basculement. Ensuite, le problème est abordé sous l'angle des points de vue d'acteurs, avec un « étagement de voir comme » qui s'ajoutent les uns aux autres. Ces deux approches sont ensuite articulées l'une à l'autre, chaque séquence chronologique étant dominée par un certain « voir comme » d'acteurs. Ce procédé permet à la fois de saisir l'évolution dynamique du problème et de souligner l'importance de sa temporalité, mais également de distinguer les différentes manières qu'ont les acteurs d'envisager le problème.

2.3. Contributions managériales

À travers ses explorations empiriques successives, cette thèse a permis de produire certaines données qui pourraient présenter un intérêt pour les acteurs du problème, notamment la construction d'une base de données des projets de removal et de servicing intégrant les caractéristiques de leur structure et de leur financement (Article 4) ou le recensement des programmes de l'ensemble des éditions de la European Space Debris Conference (Chapitre 6, Annexe 3 et 4). Ces données viennent enrichir le corpus de connaissances disponible sur le phénomène.

Étant donné la complexité du problème et sa portée, il semblerait peu réaliste – voire assez présomptueux - d'envisager apporter des réponses concrètes et simples au problème de la gestion des débris spatiaux. En effet, ce problème se caractérise par son fort degré d'incertitude : personne ne sait aujourd'hui si et quand un syndrome de Kessler pourrait se déclencher, et quel serait le meilleur moyen de l'anticiper. Quelle que soit la méthodologie utilisée, la vue que nous pouvons avoir de ce type de problème en tant que chercheur est nécessairement parcellaire. Cette thèse vise plutôt à offrir aux acteurs une vision synoptique du problème, pouvant les aider à prendre du recul sur leurs pratiques. Le cas ayant été traité dans son entier, les résultats ne s'adressent pas à un type d'acteurs en particulier, comme un manager, un dirigeant d'entreprise ou un expert scientifique, mais à l'ensemble des acteurs impliqués dans la gestion du problème. La description des dispositifs mis en place, à différents niveaux d'analyse, produit un « effet de connaissance », décrit par Becker (2002) et cité par Dumez (2021) : « *Hughes disait souvent : il n'y a rien que je sache qu'au moins un des membres de ce groupe ne sache également, mais, comme je sais ce qu'ils savent tous, j'en sais plus que n'importe lequel d'entre eux* » (Becker, 2002, p. 166). Par exemple, on souligne, à travers la proposition du concept de *commoning* global, l'importance que peuvent avoir des émotions dans la gestion du problème et leur potentiel effet sur les pratiques ; l'impact de l'emploi de certaines métaphores ou analogies sur la structuration et la catégorisation du problème (Article 3) ; la diversité des stratégies d'acteurs mises en œuvre dans l'émergence du marché (Chapitre 4) ; la manière dont fonctionne l'ensemble du système de régulation (Chapitre 3). On donne aussi à voir les différentes formes que peuvent prendre les savoirs produits par les acteurs (Chapitre 6).

D'autre part, la thèse approfondit et précise l'utilisation de concepts théoriques déjà mobilisés par les experts, comme la notion de communs (Lambach, Wesel 2021; Morin, Richard 2021;

Weeden, Chow 2011). S’inscrivant dans le prolongement de ces travaux, elle cherche à mettre en évidence la manière dont ces théories peuvent être appliquées concrètement aux problèmes auxquels les acteurs sont confrontés. Enfin, cette thèse vise plus largement à renouveler l’intérêt d’une approche gestionnaire sur ce type de problème empirique. L’analyse du cas des débris spatiaux peut aussi constituer une source d’inspiration pour des acteurs impliqués d’autres problèmes similaires.

3. Limites et voies de recherches futures

Cette thèse a permis d’ouvrir de nouvelles pistes théoriques et méthodologiques pour l’étude des problèmes globaux d’action collective. De nouveaux travaux seront nécessaires pour tester les hypothèses présentées dans ce travail doctoral, les approfondir et les améliorer. Dans un premier temps, nous présentons les limites d’une évaluation du mode de gestion du problème (3.1) et la nécessaire validation des hypothèses théoriques (3.2) avant d’envisager la possibilité d’une ouverture comparative avec un autre cas (3.3).

3.1. Limites de l’évaluation du mode de gestion

La thèse s’est attachée à décrire un mode de gestion émergent d’un problème complexe d’échelle planétaire qualifié de *commoning* global et qui renvoie aux pratiques d’une communauté d’acteurs partageant un affect, impliqués dans la gestion d’un système de régulation polycentrique et également producteurs de connaissance. Ce mode de gestion désigne un processus émergent, fragile, et qui sera probablement amené à se modifier au fur et à mesure que le problème évolue. De ce fait, il semble difficile d’évaluer les effets concrets du *commoning* global sur la gestion du problème. On a vu qu’il existait un effet retard dans la mise en place des initiatives des acteurs, particulièrement visible dans les tentatives de régulation, et que même l’évaluation du risque généré par les débris faisait l’objet d’un débat. La thèse se concentre sur la manière dont émergent et sont organisées les initiatives existantes, s’inspirant en cela de la formule d’un membre du COPUOS rencontré en entretien, pour qui « *trying to find a solution is part of the solution itself* ».

3.2. Vérification empirique des hypothèses théoriques formulées de manière abductive

Plusieurs hypothèses théoriques ont été formulées dans une démarche abductive, à partir de surprises qui ont émergé de l'analyse du matériau. Ces hypothèses doivent à présent être testées empiriquement pour être validées et faire l'objet de nouvelles boucles d'abduction. Cette section détaille la manière dont trois de ces hypothèses pourraient être approfondies et testées empiriquement.

Dans un premier temps, on peut se demander si les différentes stratégies d'acteurs qui ont été distinguées au cours de l'émergence d'un marché d'intérêt collectif (Chapitre 4) peuvent être observées dans d'autres situations empiriques, ou si elles sont confirmées également dans d'autres types de marché, autres qu'environnementaux ou « concernés ». Par ailleurs, le positionnement des acteurs doit certainement évoluer au fil du temps. Il serait donc nécessaire de compléter l'analyse par une approche longitudinale afin d'observer comment se maintiennent et évoluent ces différentes stratégies au fil du temps.

La catégorisation de connaissances proposée au Chapitre 6 doit également faire l'objet d'une vérification dans d'autres situations empiriques. Il est apparu que des catégories a priori semblables pouvaient être observées dans des problèmes similaires. Cette supposition devrait faire l'objet d'une vérification à travers une analyse approfondie de la production de connaissance sur un autre sujet. Cette analyse pourrait être réalisée autrement que par l'analyse d'une conférence internationale, afin de prendre un autre point de vue et confirmer ou infirmer la présence des mêmes catégories.

Enfin, l'existence de commoneurs globaux pourrait également faire l'objet d'une vérification empirique. Retrouve-t-on ce type d'acteurs dans d'autres problèmes globaux ? Le problème des débris spatiaux a la particularité de s'organiser autour d'une communauté relativement restreinte. Est-ce que la présence de commoneurs globaux persiste dans des problèmes aux parties prenantes plus nombreuses ? L'analyse de la dimension émotionnelle qui caractérise la relation de ces individus au problème qu'ils gèrent pourrait également être approfondie et la nature de cette émotion précisée.

3.3. Approfondissement de l'étude sur un autre cas empirique similaire

Nous avons montré que le cas des débris spatiaux est particulièrement adapté pour l'étude d'un phénomène complexe comme la gestion de l'action collective dans un problème global.

Toutefois, comme tout cas, le cas des déchets reste singulier par plusieurs aspects. D'abord, il n'intègre pas de dimension locale, territoriale. L'analyse ne descend pas en-dessous du niveau étatique. Il intègre également des dimensions militaires et stratégiques importantes, qui influencent la manière dont sont mis en place les dispositifs de gestion. Enfin, le nombre de ses parties prenantes est plus limité que dans d'autres cas complexes.

La poursuite de cette recherche doit passer par l'analyse d'un nouveau cas, à la fois proche et différent. Une étude, déjà amorcée et qui sera poursuivie dans le prolongement de cette thèse, vise à élargir le champ d'application du *commoning* global au cas de la pollution plastique en milieu maritime (voir Chapitre 1). Plusieurs séries d'entretiens ont déjà été réalisées, sur le problème global ainsi que sur le traitement de la problématique dans l'estuaire de la Seine. L'objectif est de reprendre les propositions théoriques de cette thèse, notamment en ce qui concerne les mécanismes de production de connaissance et l'importance des communautés de commoneurs, en intégrant une dimension territoriale qui fait défaut dans le cas des déchets spatiaux.

Articles de la thèse

Au cours de ce travail doctoral, cinq articles ont été rédigés. Ils ont accompagné l'élaboration de cette thèse, chacun explorant une facette nouvelle du problème des débris spatiaux, à travers différents axes empiriques et théoriques. Ils adoptent différents niveaux d'analyse : celui du cas global (Article 1), d'une firme (Article 2), d'un secteur d'activité (Article 4), ou d'individus (Article 3) ; et utilisent des unités d'analyse variées comme le discours des acteurs (Article 3), des projets d'innovation (Article 4), des stratégies de firmes (Article 2).

L'Article 1 a servi de point d'entrée dans le cas empirique. Il a permis d'identifier les principaux axes de tension qui traversent le problème à travers la description de plusieurs scénarios de gestion. L'Article 2 consiste en une étude de cas sur la stratégie d'un acteur singulier, la startup Astroscale. Il nous a permis de mettre en place la réflexion sur l'émergence du marché et de souligner l'importance de certains acteurs pivots. Dans l'Article 3, le cas est exploré à travers l'étude des mécanismes langagiers, plus précisément des métaphores et des analogies, montrant comment le problème est catégorisé par les acteurs et comment ces derniers imaginent sa résolution. L'Article 4 approfondit la question de l'émergence d'un marché du nettoyage spatial en proposant une étude de la structure des projets d'innovation d'Active Debris Removal. Il met en évidence les dynamiques entre les catégories de marché. Enfin l'Article 5, toujours en cours de rédaction, porte sur l'identification et la description du *commoning* global présenté dans la thèse.

Le tableau ci-dessous présente les différentes étapes du processus de rédaction et de publication de ces articles. Les Articles 1, 2, 3 et 4 sont ensuite reproduits.

| N° | Référence de l'article | Étapes du processus de publication |
|----|--|---|
| 1 | C. Toussaint, & H. Dumez (2020). « Gérer un méta-problème : le cas des débris spatiaux », <i>Gérer & Comprendre</i> , n°141, septembre 2020, pp. 3-12. | <ul style="list-style-type: none"> - Soumission le 12/09/19 - Invitation à soumettre une nouvelle version le 22/10/19 - Soumission d'une deuxième version le 6/11/2019 - Publication de l'article en septembre 2020 - Valorisation scientifique sur le site <i>The Conversation</i> en septembre 2020 - Nomination en tant que meilleur article de l'année 2020 et traduction de l'article en anglais en août 2021 |
| 2 | H. Dumez, & C. Toussaint (2021) « Nouvelles dynamiques du secteur spatial : startups et débris spatiaux. Le cas Astroscale », <i>Entreprise et Histoire</i> , n°102, pp. 1-9. | <ul style="list-style-type: none"> - Soumission le 6/01/20 - Retour des éditeurs le 12/01/21 - Seconde soumission le 10/02/21 - Publication de l'article en mai 2021 |
| 3 | C. Toussaint (2021) « Le rôle des analogies et des métaphores dans la compréhension et la structuration d'un <i>grand challenge</i> : le cas des débris spatiaux », <i>Revue Française de Gestion</i> , vol. 47, n°301, pp. 113-125. | <ul style="list-style-type: none"> - Participation à la journée « Métaphores d'hier et d'aujourd'hui en sciences de gestion » organisée par la RFG en mars 2021 - Soumission le 14/04/21 - Premier retour des relecteurs le 10/05/21 - Participation à la conférence EGOS en juillet 2021 dans le track « Organizing Difference: Communicative Constitution of Organization and Discourse Perspectives » - Seconde version soumise le 25/06/21 - Révisions mineures requises le 13/07/21 - Dernière soumission le 08/10/21 - Publication en novembre 2021 |
| 4 | Toussaint, C. and H. Dumez (2022), "On the emergence of an active debris removal market", in <i>Earth's Orbits at Risk: The Economics of Space Sustainability</i> , OECD Publishing. | <ul style="list-style-type: none"> - Lancement du projet de recherche « the value and sustainability of space-based infrastructure » - Soumission de l'extended abstract (05/06/21) - Soumission de l'article 16/09/21 - Retour des relecteurs 22/11/21 - Acceptation de l'article janvier 2022 - Publication en septembre 2022 |
| 5 | "Managing grand challenges through global commoning" – à soumettre | <ul style="list-style-type: none"> - Présentation de l'article au CEFAG en septembre 2020 - Présentation de l'article en atelier d'écriture 8/02/21 - Présentation de l'article à la conférence EURAM en juin 2022. |

Tableau 24 Journal de suivi des articles

Article 1. Gérer un méta-problème : le cas des débris spatiaux

Résumé

Avec le développement de nouveaux projets vers la Lune ou vers Mars, avec la croissance du marché des satellites privés et militaires, le secteur spatial est en pleine expansion. Ces activités sont aujourd'hui menacées par l'augmentation exponentielle du nombre de déchets en orbite autour de la Terre. Le cas présente les caractéristiques de ce que Cartwright (1987) a appelé un « méta-problème ». Un tel type de problème suppose en effet la coordination d'acteurs multiples et hétérogènes. Le cas des débris spatiaux montre qu'il se décompose par ailleurs en trois dynamiques interdépendantes mais exigeant des formes d'actions différentes : contenir au présent l'aggravation de la situation, impulser de nouvelles solutions pour l'avenir et nettoyer les débris existants pour effacer l'héritage du passé. Reposant sur l'approche des scénarios (Schoemaker, 1995; Wiebe et al., 2018), cet article identifie quatre voies de résolution de ce problème. Chacune tient compte de l'hétérogénéité des acteurs, publics et privés, et des modes de coordination possibles, marché et régulation.

Introduction

Le 10 février 2009, le satellite de télécommunication Iridium-33 est percuté perpendiculairement par un satellite militaire russe déclassifié, Cosmos-2251, à une vitesse estimée à plus de onze kilomètres par seconde. La collision produit sans doute plus de 3000 débris (les estimations varient). C'est le premier accident de cette ampleur jamais répertorié. Depuis le début de la conquête spatiale, en 1957, le nombre de débris dans l'espace augmente de façon exponentielle. Il s'agit de ce que l'on appelle le syndrome de Kessler (Kessler & Cour Palais, 1978) : chaque accident produit une multitude de nouveaux débris, eux-mêmes susceptibles de provoquer d'autres collisions en chaîne. Aujourd'hui, on recense dans l'espace 34 000 objets de plus de dix centimètres, 900 000 de plus d'un centimètre et 128 millions de plus d'un millimètre, sachant qu'un objet d'un millimètre, un éclat de peinture par exemple, à la vitesse où il se déplace dans l'espace, peut occasionner des dégâts importants sur un satellite en fonction. Avec l'augmentation du nombre de satellites d'observation et de télécommunication, les risques sont en train de se multiplier. Des systèmes de détection permettent d'anticiper les collisions avec des objets de grande taille. Le lundi 2 septembre 2019,

l'agence spatiale européenne a opéré une manœuvre de modification de la trajectoire de son satellite Aeolus pour éviter une collision avec un satellite de la constellation Starlink de SpaceX, la firme d'Elon Musk. C'est la première fois que l'Agence Spatiale Européenne doit intervenir pour éviter un satellite opérationnel. Jusque-là, les manœuvres ne concernaient que des débris ou des satellites abandonnés. Beaucoup d'objets de plus petite taille échappent à la détection et la multiplication des débris va rapidement rendre les manœuvres difficiles et sans doute peu efficaces. Les coûts entraînés par la création de débris peuvent être élevés, en termes de vies humaines pour les astronautes et les populations au sol, et en termes économiques si des satellites sophistiqués sont détruits.

Le cas montre combien la poursuite de stratégies individuelles (lancer toujours plus de satellites) peut mener à une catastrophe collective (ne plus réussir à aller dans l'espace). En ce sens, les orbites terrestres sont le théâtre d'une nouvelle « tragédie des communs », telle qu'elle a été décrite par Hardin en 1968 : « Tous courent à la ruine, chacun poursuivant son intérêt personnel dans une société qui croit à la liberté des biens communs, liberté qui se traduit par la ruine de tous » (Hardin, 2018, p. 29). Cartwright (1987) a qualifié une telle situation de « méta-problème ». La gestion de ce type de problème implique des acteurs hétérogènes aux valeurs contradictoires qui peuvent avoir recours à plusieurs moyens d'action. Les questions environnementales, de développement durable, de droits de l'Homme ou de corruption, relèvent de cette catégorie. Le cas des débris spatiaux illustre la manière dont ces problématiques naissent et sont mises à l'agenda, et dont on peut essayer de les gérer. En prolongeant Cartwright, on peut également noter que de tels problèmes se caractérisent par trois dimensions interdépendantes mais séparées. Il s'agit de gérer les problèmes les plus urgents, en empêchant par exemple qu'un tir de missile antisatellite ou une collision avec un satellite actif ne provoque une nouvelle catastrophe qui serait fatale aux activités spatiales. Dans un horizon plus lointain, la situation ne pourra se stabiliser durablement que si les acteurs modifient leurs comportements en profondeur (ce que les Anglo-Saxons appellent *mitigation*). Enfin, il faut nettoyer les orbites terrestres où se sont accumulés les débris depuis le début de la conquête spatiale (en anglais, *remediation*).

Montrant comment le méta-problème des débris spatiaux est apparu, comment il s'est développé et comment les acteurs ont commencé à agir, cet article explore les scénarios possibles et plausibles de sa gestion. Une généralisation à d'autres types de méta-problèmes comme le plastique polluant les océans, est sans doute envisageable.

Méthodologie

L'analyse a été réalisée à partir d'un corpus bibliographique varié. Le cas des débris spatiaux dispose en effet d'un très grand nombre de données secondaires : rapports, publications d'organismes internationaux, textes de lois, chronologies officielles. Nous nous sommes également appuyés sur des publications scientifiques (Alby et al., 2007; Bonnal, 2016; Kessler & Cour Palais, 1978) dans des disciplines variées comme l'économie (Salter, 2016), la sociologie (Saint-Martin, 2016) et le droit (Chaddha, 2012). Afin d'identifier les éléments majeurs de cette abondante littérature, nous avons adopté la méthode du snowball sampling, ou de l'effet boule de neige (Miles & Huberman, 2003; Quinn Patton, 2002).

Quinze entretiens sont venus compléter ce matériau. Nous avons rencontré des représentants de chacun des grands acteurs impliqués dans la problématique des débris spatiaux : industriels (éco-design, commercial, engineering), agences spatiales, startups spécialisées (retrait des débris, analyse de risque), universités (fabrication de Cubesats, recherches sur les lasers de puissance), départements juridiques. Ces entretiens libres d'une heure et quart à trois heures nous ont permis d'appuyer les hypothèses formulées au cours de la recherche et de tester la possibilité et la plausibilité des scénarios construits (« traiter les entretiens comme des éléments de révision de la théorie » – (Piore, 2006, p. 22).

Un méta-problème se caractérise par son caractère multidimensionnel et son fort degré d'incertitude. Analytiquement, il convient de décomposer sa complexité en plusieurs dimensions constitutives. La littérature identifie deux dimensions dans le méta-problème des débris spatiaux : la mitigation (ne plus produire de nouveaux débris) et la remediation (nettoyer les débris existants). Une approche narrative nous a permis d'en faire apparaître une troisième : contenir, c'est-à-dire éviter une catastrophe imminente. À partir de la mise en évidence de ces trois dimensions constitutives du méta-problème, nous avons traité la question de l'incertitude en mobilisant la méthode des scénarios, souvent utilisée en matière environnementale. Pour développer les scénarios, deux axes de tensions ont été construits à partir de l'analyse du matériau et de la narration, acteurs privés et publics, régulation et marché.

Analyse narrative du méta-problème

Nous allons d'abord présenter la narration du cas des débris spatiaux pour comprendre comment a émergé ce méta-problème et comment il s'est structuré au fil du temps. À partir de cette narration, nous proposerons une analyse du problème en trois dimensions.

Narration : apparition et développement du méta-problème

Dans l'histoire des débris spatiaux, l'étude des chronologies à partir de la littérature consacrée au sujet (Bonnal, 2016; Kessler, 1993; Saint-Martin, 2016; Salter, 2015) amène à construire une narration représentée dans la figure 1 reposant sur l'identification de trois périodes, encadrées par deux points de basculement (A. Abbott, 2001; Abell, 2004; Dumez, 2016). La première séquence renvoie à la naissance du problème scientifique et aux premières tentatives pour le résoudre ; les grandes collisions conduisent à une deuxième séquence marquée par une intensification de la réglementation ; actuellement, nous sommes probablement entrés dans une troisième séquence, caractérisée par des ruptures technologiques qui vont considérablement aggraver le problème dans les prochaines années (Voir Figure 1 ci-dessous).

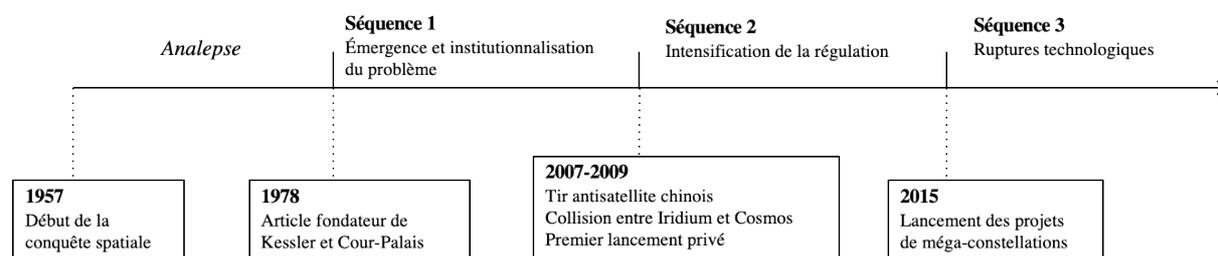


Figure 1 : Schéma de la narration

Séquence 1 : l'émergence et l'institutionnalisation du problème

Les premiers satellites sont restés dans l'espace après leur fin de vie opérationnelle. Avec l'apparition de vols habités, les supports de vols ont été récupérés au sol et analysés. On cherchait notamment à savoir si on allait y retrouver des impacts de météorites. À leur grande surprise, les chercheurs de la NASA (notamment Donald J. Kessler) relèvent aussi la présence de particules d'aluminium. Absentes de l'environnement spatial, celles-ci ne peuvent donc provenir que d'objets artificiels.

En 1978, Kessler et Cour-Palais publient dans le Journal of Geophysical Research un article fondateur, souvent présenté comme le point de départ de l'histoire des débris spatiaux, et

intitulé “Collision Frequency of Artificial Satellites: The Creation of a Debris Belt”. Il s’agit à l’époque d’un modèle statistique pur établissant une loi exponentielle : générés plus rapidement que l’atmosphère ne peut les nettoyer, les débris existants risquent d’entrer en collision avec d’autres objets et de générer encore plus de fragments. Dans l’espace, la masse importe peu et un débris n’a pas besoin d’être lourd pour faire des dégâts : un objet d’un centimètre de diamètre a une puissance destructrice équivalente à celle d’une voiture lancée à 130 km/h. Le phénomène prend le nom de « syndrome de Kessler » (Kessler, 1993). La NASA reconnaît alors officiellement l’importance du problème et propose à Kessler de prendre la tête de l’Orbital Debris Program Office, un nouveau département basé à Houston.

Autour de Kessler se forme un groupe de scientifiques spécialisés sur le sujet. En 1993, ces chercheurs créent l’IADC (Inter-Agency Space Debris Coordination Committee), une organisation internationale inter-agence consacrée à l’étude des débris spatiaux. Sa mission consiste à « échanger des informations sur les activités de recherche à propos des débris spatiaux, de faciliter les opportunités de coopération académique, de recenser les initiatives collectives existantes et d’identifier les possibilités de diminution du nombre de débris spatiaux » (IADC, 1993). Elle propose également la définition la plus citée d’un débris spatial : « tout objet ou fragment artificiel sur une orbite terrestre ou en cours d’entrée atmosphérique ». La NASA, la JAXA (l’agence spatiale japonaise) et le CNES adoptent rapidement leurs premiers standards. Suivront, au début des années 2000, des guidelines et des codes de conduite publiés par l’IADC et le COPUOS (Committee on the Peaceful Uses of Outer Space), agence spatiale de l’ONU. Au cours de cette première séquence, longue de près de trente ans, le problème des débris spatiaux est progressivement découvert et institutionnalisé (Alby et al., 2007; Saint-Martin, 2016; von der Dunk, 2015).

Le 11 janvier 2007, l’armée chinoise effectue un tir de missile antisatellite et détruit un vieux satellite météorologique. À elle seule, cette opération aurait accru de 25 % le nombre de débris dans l’espace. La Chine devient responsable de près de 42 % de la population de débris (contre 27,5 % pour les États-Unis et 25,5 % pour la Russie). Deux ans plus tard intervient la collision d’Iridium et de Cosmos, évoquée en introduction. Ces deux événements constituent un point de basculement qui fait entrer l’histoire des débris spatiaux dans une nouvelle phase. Les membres de la communauté spatiale reconnaissent la gravité du problème et les conséquences dramatiques qui peuvent en découler. Reste à trouver collectivement une solution adéquate.

Séquence 2 : la montée de la réglementation

La deuxième séquence se caractérise par deux phénomènes distincts qui viennent se combiner. D'une part, on l'a vu, le nombre de débris en orbite augmente brutalement suite aux deux événements de 2007 et 2009. D'autre part, des acteurs privés apparaissent au cœur du secteur spatial. SpaceX, la société d'Elon Musk, voit le jour en 2003. Après plusieurs lancements infructueux, Falcon 1 devient en 2009 la première fusée privée à mettre un satellite en orbite. La combinaison de ces deux phénomènes indépendants conduit à des réactions en matière de régulation, tant de la part des États que des acteurs privés.

Les États sont tout d'abord de plus en plus nombreux à adopter des législations nationales sur les débris. Les grands traités internationaux ne mentionnent pas cette question, mais stipulent que les États sont responsables de leurs activités spatiales nationales. Avec l'entrée d'acteurs privés dans le domaine des lancements, les États, responsables en dernière instance, cherchent à se couvrir en encadrant l'activité de leurs opérateurs privés. Dans cette perspective, la France vote par exemple la LOS (Loi sur les Opérations Spatiales) en 2008. Par ailleurs, les acteurs privés tentent de participer au processus de régulation. En 2011, l'élaboration d'un standard ISO consacré à la gestion des systèmes spatiaux reflète cette volonté de créer une régulation privée. Élaborée par des agences spatiales, des États, des industriels, des juristes, des assureurs, cette norme est largement inspirée des guidelines techniques de l'IADC. Elle pourrait devenir efficace si elle provoquait un effet d'entraînement ou si l'enjeu réputationnel devenait majeur pour tous les acteurs. Malheureusement, elle est encore peu appliquée par les acteurs influents. On observe en parallèle, durant cette séquence, l'apparition de startups qui voient dans la question des débris spatiaux une opportunité de marché. Créée en 2013 par un entrepreneur japonais, Astroscale cherche par exemple à commercialiser des services de retrait des débris. Ses démarches auprès des gros opérateurs de méga-constellations commencent à porter leurs fruits. Néanmoins, l'entreprise a des difficultés à élaborer un modèle d'affaires viable à long terme.

La question des débris sort du domaine restreint des spécialistes en 2013, avec la sortie du film *Gravity* d'Alfonso Cuarón. Des médias généralistes commencent également à s'emparer du sujet. Au cours de cette séquence, les débris spatiaux ont été identifiés par la communauté internationale comme un problème à gérer collectivement. Malgré la médiatisation, les efforts de régulation et les recherches menées pour identifier des solutions technologiques, aucune solution précise et efficace n'a émergé. Pire, de nouvelles menaces apparaissent à l'horizon à la fin de la séquence.

Séquence 3 : ruptures technologiques et aggravation du problème

La période qui s'ouvre en 2015 marque une aggravation considérable du problème, due à trois facteurs : les projets de méga-constellations, l'essor des nano-satellites et la poursuite des essais militaires par certains pays.

Une constellation est un groupe de satellites qui se coordonnent pour couvrir la plus grande zone au sol possible. Le phénomène concerne surtout les satellites en orbite basse. Ces constellations servent le plus souvent à collecter des données de positionnement et d'observation à travers la télédétection. Elles sont notamment utilisées dans le domaine des télécommunications, en climatologie, en météorologie et en cartographie. Une constellation comme Galileo, système européen de positionnement, compte par exemple trente satellites. Mais, en 2015, de nombreux opérateurs de satellites privés ont dévoilé des projets de méga-constellations qui assureraient une couverture Internet parfaite et du haut débit à n'importe quel endroit du globe. C'est par exemple le projet de OneWeb ou de SpaceX avec la méga-constellation Starlink. Alors que, depuis Spoutnik, 8850 objets ont été mis sur orbite, Starlink prévoit le lancement de 12 000 satellites en orbite basse. Ces nouveaux projets présentent un réel danger. Ils augmentent en effet de manière brutale le nombre de satellites en orbite, donc de collisions possibles. Or, la plupart de ces satellites ne comportent pas de moteur suffisamment puissant pour envisager une désorbitation propre et contrôlée en fin de vie ou en cas de panne.

On assiste également à une multiplication des lancements de nano-satellites, ou Cubesats. Grâce à la standardisation de leurs composants, ces petits cubes de 10 cm de côté se fabriquent à bas coût. À l'origine, les Cubesats ont été développés par des universités pour permettre aux étudiants de fabriquer leur propre satellite et de le piloter. Aujourd'hui, des sociétés privées comme des agences spatiales s'y intéressent avec des perspectives commerciales. Leur petite taille empêche de les localiser avec précision, surtout lorsqu'ils cessent d'émettre, et ils peuvent devenir en fin de vie de petits bolides incontrôlables et extrêmement dangereux.

Enfin, on a assisté, ces dernières années, à plusieurs manœuvres militaires qui allaient à l'encontre des règles les plus élémentaires de sécurité. La destruction récente d'un satellite indien par un tir de missile, le 27 mars 2019, en fournit l'exemple. Démonstration de force, besoin de légitimation sur la scène militaire mondiale, signal implicite à un pays voisin, le secteur spatial reste le théâtre d'enjeux politiques mondiaux. Ces tests multiplient le nombre de

débris. Ils remettent également en question les efforts de la communauté scientifique et juridique qui essaie d'imposer des réglementations. La figure 2 ci-dessous illustre l'évolution du problème au cours du temps et montre comment il s'est transformé en méta-problème à gérer.

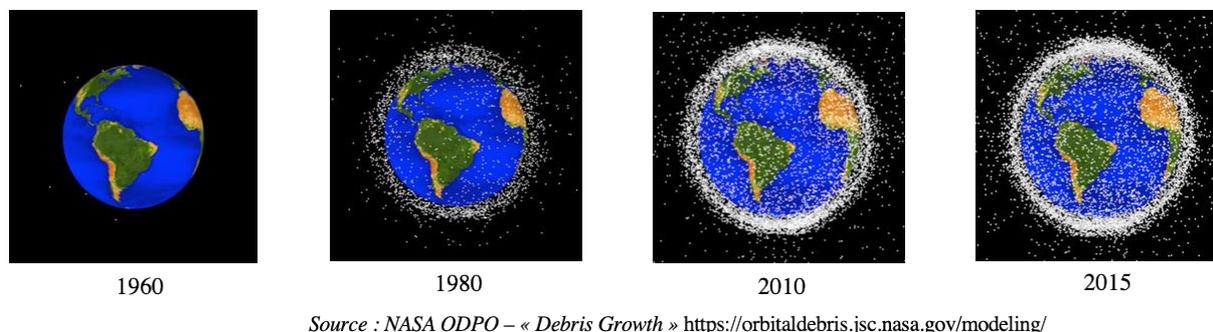


Figure 2 : évolution du nombre d'objets orbitaux catalogués (de plus de 10 cm de diamètre en orbite basse et de 1 m en orbite géostationnaire)

Analyse de la narration : les trois dimensions du méta-problème

La narration montre qu'un méta-problème peut être analysé à partir de trois dimensions constitutives. Celles-ci sont à la fois séparables, parce que les acteurs impliqués et les modes d'action requis diffèrent d'une dimension à l'autre, et interdépendantes, car le méta-problème est envisagé comme un tout constitutif. Elles sont liées à l'horizon temporel particulier du méta-problème, qui plonge ses racines très profondément dans le passé et implique un futur lointain, avec une urgence d'agir dans le présent. Ces trois dimensions sont les nécessités de contenir, d'impulser et de nettoyer.

Afin d'empêcher que le problème ne s'aggrave de manière dramatique, les acteurs doivent d'abord réagir en prenant des mesures immédiates. Il faut qu'ils contiennent le problème. Dans le cas des débris spatiaux, il s'agit d'éviter une nouvelle catastrophe. Un tel événement pourrait résulter d'une collision entre deux objets spatiaux, d'une explosion en vol ou de la destruction volontaire d'un satellite.

Les méta-problèmes concernent également l'avenir. Afin d'atténuer les risques, il est indispensable de modifier le comportement des acteurs impliqués et de créer de nouvelles dynamiques. Dans la littérature, ce procédé est qualifié de mitigation (« il vise à empêcher l'aggravation du problème », Baiocchi, 2010, p. 13). Plusieurs mécanismes d'incitation peuvent être utilisés pour encourager les acteurs à suivre les recommandations. Dans le cas des débris,

ces derniers doivent cesser de provoquer la création de nouveaux fragments et anticiper la fin de vie de leurs satellites en utilisant des matériaux plus adaptés qui se désagrègent facilement dans l'atmosphère et résistent mieux aux collisions. Il est également possible d'équiper les satellites de petits moteurs permettant de les désorbiter et de les faire redescendre dans l'atmosphère une fois leur mission accomplie.

Il faut enfin prendre en compte les dégâts créés par le passé et nettoyer les déchets. Ce processus est souvent qualifié de remédiation (« il cherche à inverser le cours des événements », Baiocchi, 2010, p. 13). C'est un processus réactif, qui ne vise pas forcément à l'élimination complète du problème mais plutôt déjà à son atténuation. De nombreuses techniques de retrait des débris sont actuellement en phase d'expérimentation : bras robotique, harpon, filet, laser. Mais ces techniques de nettoyage sont difficiles à mettre en œuvre et financièrement coûteuses.

Ces trois dimensions (contenir, impulser et nettoyer) décrivent trois processus d'action collective à la fois distincts et simultanés. Ils doivent être abordés de front afin de résoudre le méta-problème de la prolifération de débris dans les orbites terrestres. Quels scénarios possibles et plausibles peuvent répondre à ces trois nécessités ?

L'approche par scénarios

Les grands traités de l'espace refusent la militarisation et l'appropriation privée ou publique. Dans le dernier adopté (1984), la Lune est qualifiée de «common heritage of mankind». L'espace a donc été pensé, dès les débuts de la conquête spatiale, comme un domaine commun. Il faut pourtant noter que cette approche n'a jamais fonctionné complètement. Les armées n'ont pas cessé de mener des stratégies militaires dans l'espace, et les opérateurs privés y ont progressivement développé des activités commerciales. À l'époque de la signature des premiers traités, dans les années 1960, il n'existait pas encore de « tragédie des communs ». Celle-ci n'a fait son apparition que très progressivement avec le problème des débris spatiaux, comme on l'a vu dans la narration.

Hardin (ed. 2018) propose deux solutions à la tragédie qu'il décrit. La première consiste à faire de l'État un acteur coercitif, capable de contrôler et de sanctionner le comportement des autres acteurs. Dans le cas des débris, cela impliquerait une coopération internationale forte entre États. Or, les juristes spécialisés que nous avons rencontrés, et qui participent aux groupes de travail de l'ONU, sont extrêmement pessimistes sur une telle possibilité, même à moyen terme. La seconde solution consiste à privatiser le commun, chaque propriétaire ayant alors intérêt à

prendre soin de sa parcelle. Mais cette option irait à l'encontre du principe fondamental du libre accès à l'espace, qui figure dans le premier traité. Ostrom (1990) dépasse cette dualité en introduisant une autre solution : la gestion d'un commun par des communautés locales (ses cas portent sur la gestion de forêts et de systèmes d'irrigation). Mais cette approche, qui suppose qu'un État reconnaisse une communauté et que des sanctions soient mises en place, ne convient pas non plus au caractère global du problème des débris spatiaux et à l'absence de possibilité de sanctions.

Il semble paradoxalement impossible de gérer cette tragédie à l'aide des solutions proposées par Hardin et Ostrom (État, marché, communauté). Il faut plutôt envisager des combinaisons de ces différents éléments, cette dynamique se rapprochant de ce que Fournier appelle *commoning* : « Nous ne voyons pas les communs seulement comme un ensemble limité de ressources, mais également comme un processus social de production et d'organisation » (Fournier, 2013, p. 438). L'expression « processus social de production et d'organisation » est juste et s'applique au problème, mais reste vague. Il nous est apparu que ces processus pouvaient sans doute être multiples. C'est donc une approche par scénarios que nous avons adoptée (Pinkham & Chaplin, 1996; Schoemaker, 1995; Schwartz, 2012; Wiebe et al., 2018). Une telle démarche s'articule généralement en deux étapes : « Une approche commune à la construction de scénarios consiste à choisir deux forces motrices particulièrement importantes et incertaines, ou imprévisibles. Pour chacune de ces deux "incertitudes critiques", on suppose alors deux résultats futurs différents mais plausibles. En combinant les deux résultats pour les deux forces, on obtient une matrice de scénarios comportant quatre futurs différents. » (Pinkham & Chaplin, 1996, p. 3).

Identification des deux axes de tension

L'hétérogénéité des acteurs et la diversité des formes de coordination apparaissent comme des dimensions critiques du méta-problème. Chacune compte deux pôles opposés. D'une part, les acteurs peuvent être publics ou privés. D'autre part, la régulation et le marché sont deux formes alternatives de coordination. L'identification de ces deux axes constitue la première étape permettant de construire des scénarios.

Des acteurs publics et privés

Comme l'avait vu Cartwright (1987), un méta-problème se caractérise par la combinaison d'objectifs et d'intérêts variés avec des horizons temporels différents (Cartwright, 1987, p. 93). L'espace est un secteur où se côtoient acteurs privés et acteurs publics. Bien que les deux types d'acteurs coexistent, leurs intérêts diffèrent. En fonction des activités, les uns ou les autres prennent l'initiative et l'ascendant.

Historiquement, le spatial était dominé par les États et le public, dans les volets à la fois civil et militaire. Les agences sont des organismes publics chargés d'orchestrer les activités spatiales nationales. Elles peuvent avoir une importance plus ou moins grande selon les pays. En France et aux États-Unis, par exemple, elles sont impliquées jusque dans la conception et le lancement des objets spatiaux. Le secteur privé est aujourd'hui en pleine expansion. Il se compose d'entreprises industrielles historiques comme Airbus ou Arianespace, mais également de nouveaux entrants influents, à l'image de SpaceX ou de Blue Origin, et de nombreux petits acteurs plus spécialisés, qui constituent le New Space (Pasco, 2017). Les firmes disposent de moyens financiers conséquents qui leur permettent de réagir rapidement aux évolutions du marché. Par ailleurs, elles se révèlent sans doute plus sensibles au mécanisme de « nommer et dénoncer » (naming and shaming) que les États, dont l'implication géopolitique réduit la marge de manœuvre. Contrairement à ces derniers, elles poursuivent des objectifs de rentabilité à court et moyen terme qui peuvent entrer en contradiction avec les projets de soutenabilité. La question qui se pose aujourd'hui est de savoir quel type d'acteur peut prendre l'initiative sur les différentes dimensions du méta-problème et assumer le leadership sur la mise en œuvre des solutions envisagées.

Les formes de coordination : régulation ou marché ?

Face aux multiples dimensions du problème, les acteurs peuvent avoir recours à plusieurs processus d'organisation. D'une part, la régulation peut encadrer le comportement des acteurs, via l'établissement de normes publiques ou privées. D'autre part, la création de marchés permet de coordonner les acteurs autour d'un prix d'équilibre entre offre et demande. Bien évidemment, en pratique, régulation et marché se combinent (le marché a besoin de règles, et la régulation vise à encadrer le marché). Mais l'un domine souvent l'autre : le curseur se déplace plutôt du côté du marché ou plutôt du côté de la régulation.

On distingue deux grands types de régulation. La loi dure ou *hard law* peut se déployer au niveau national ou international et se définit par son caractère contraignant, spécifique et

délégatoire (K. W. Abbott & Snidal, 2000). Elle permet de réduire les coûts de transaction mais également de renforcer la crédibilité des acteurs ainsi que leur stratégie politique. En contrepartie, elle dicte les comportements et restreint les libertés. À l'échelle internationale, le traité en est la forme la plus coercitive. La loi molle ou *soft law*, dont le standard est l'outil représentatif, relève de l'autorégulation, n'a pas de dimension coercitive et peut même être pensée comme une forme d'organisation (Brunsson et al., 2012). Elle peut s'appuyer sur l'existence de méta-organisations, c'est-à-dire d'organisations dont les membres sont des organisations (Ahrne & Brunsson, 2008; Berkowitz & Dumez, 2016), qui regroupent souvent des acteurs privés du marché (syndicats professionnels) et qui discutent et émettent des standards. La multiplication des standards (Büthe & Mattli, 2013) va parfois à l'encontre de l'objectif initial de simplification de la norme. Reinecke et al. (2012) qualifient ce phénomène de méta- standardisation : « [Elle] signifie que la convergence se produit au niveau des critères de base et des principes généraux (“règles du jeu”), tandis que la variété se limite aux attributs spécialisés permettant aux normalisateurs de conserver leurs propres identités » (Reinecke et al., 2012, p. 792).

Face à la régulation, le marché est considéré comme un autre mode de coordination, au sein duquel des individus ou des organisations concurrentes échangent des droits de propriété à un certain prix. Les théories classiques présentent le marché et l'organisation comme deux éléments antagonistes, les organisations servant uniquement à pallier les manquements des marchés en cas de défaillance (*market failure*). Elles sont le « moyen d'atteindre les bénéfices de l'action collective dans des situations où le système de prix est défaillant » (Arrow, 1974, p. 33). Or, si le marché est bien un outil incontournable de la structuration du méta-problème, il doit être pensé comme une organisation (Ahrne et al., 2015). Comme elle, sa structure et son mode de fonctionnement peuvent varier. Comme elle, il peut être plus ou moins bien organisé. Comme elle enfin, il s'articule autour de cinq dimensions : l'adhésion, les règles, le contrôle, la sanction et la hiérarchie. Penser les marchés comme des organisations permet de revoir la manière dont ils émergent. Ahrne, Aspers & Brunsson (2015) proposent une typologie des organisateurs du marché qui peuvent être des « profiteurs » (pour qui la création de marché est synonyme de profit), des acheteurs et des vendeurs, ou des tiers (qui n'ont pas d'intérêt économique à la création d'un marché mais y participent, comme les ONG).

La figure 3 ci-dessous expose les deux axes de tension :

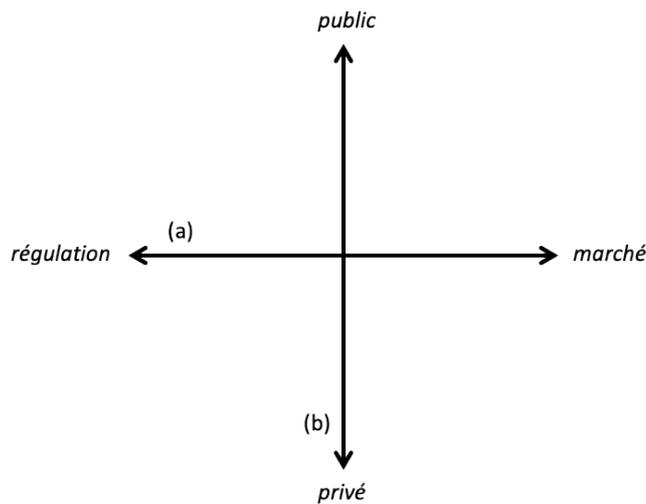


Figure 3 : (a) moyens de coordination et (b) acteurs

Construction des quatre scénarios

Quatre scénarios de gestion peuvent être élaborés. Le premier est la régulation publique. Il peut reposer sur des règles de *hard* ou *soft law* discutées lors de négociations entre États et organismes internationaux. Le deuxième relève de la régulation privée. Il repose sur la standardisation et suppose des formes de coopération entre acteurs privés souvent en concurrence. Le troisième est du côté de l'activité elle-même et non plus de sa régulation, il s'agit du service public, souvent associé à l'absence de profit et à une forme de monopole. Enfin, le quatrième scénario est celui du marché classique : des acteurs cherchent à réaliser un profit en offrant ou en achetant des services. Les quatre scénarios sont représentés dans la figure 4 ci-dessous.

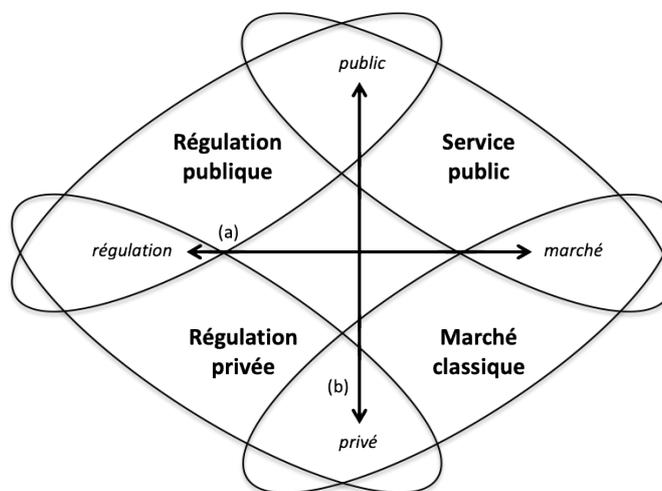


Figure 4 : Les quatre scénarios

Gérer le méta-problème : les scénarios possibles pour les trois dimensions

Comme on l'a vu, le méta-problème se compose de trois dimensions : contenir, impulser et nettoyer. Pour chacune de ces dimensions, on peut chercher à identifier le scénario qui semble le plus plausible.

Contenir : la régulation publique

À court terme, il est nécessaire d'éviter les catastrophes en empêchant de nouveaux tirs de missiles antisatellites et en évitant les collisions des gros débris identifiés. Ces deux impératifs relèvent du domaine public, notamment en raison de la dimension militaire. Ils supposent l'adoption de règles par les acteurs publics. La solution optimale serait celle de la signature d'un nouveau traité international que tous les États, directement ou indirectement présents dans l'espace, signeraient (Barrett, 2003). Mais comme on l'a vu, les juristes impliqués dans les processus de négociation émettent des doutes sérieux quant à la capacité des Nations Unies à parvenir à un nouvel accord de ce type. En effet, le comité pour l'utilisation pacifique de l'espace (COPUOS) ne fonctionne que par consensus et semble aujourd'hui paralysé par les conflits géopolitiques. En l'absence d'une communauté internationale unie, l'espace ne peut donc pas être géré comme un commun. A priori, le scénario d'un traité international paraît donc impossible à réaliser. Seule une nouvelle catastrophe, à l'image des événements de 2007 et 2009, pourrait éventuellement pousser l'ensemble de la communauté internationale à réagir collectivement.

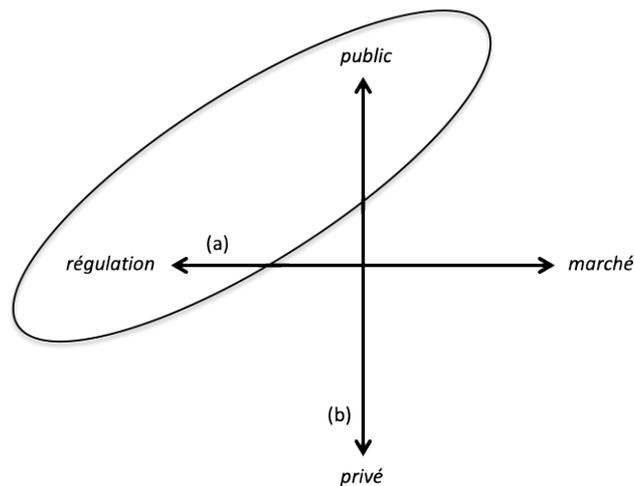


Figure 5 : contenir par la régulation publique

On peut imaginer un scénario, certes sous-optimal, mais plus réalisable, qui reposerait sur la constitution de communautés vertueuses d'États importants sur la scène spatiale, s'engageant par une charte commune à ne plus procéder à des tirs militaires sur des satellites existants. Certes, des États voyous qui ne seraient pas contraints par ce texte pourraient continuer leurs tirs, mais ils seraient soumis à un processus de *naming and shaming* qui pourrait avoir une certaine efficacité.

Sur le plan de l'évitement des collisions (Space Traffic Management), les tensions géopolitiques ne semblent pas pouvoir non plus conduire à un traité international signé par l'ensemble des États. De plus, dans ce cas-là, la notion de communauté vertueuse ne semble pas applicable (on ne peut pas concevoir un code de la route qui ne serait appliqué que par une communauté de conducteurs vertueux).

Impulser : la régulation privée

Pour que les débris cessent de proliférer, il est nécessaire que les acteurs modifient leurs comportements à long terme. Il s'agit de les inciter à prendre en compte la fin de vie des objets dès leur conception, en anticipant leur désorbitation. Cette évolution implique l'ensemble des quatre pôles identifiés : elle requiert des changements de règles mais également le développement d'activités de marché, et doit probablement mobiliser les acteurs publics comme privés. Il est donc difficile d'élire un seul scénario parmi les quatre possibilités. Il apparaît qu'en pratique, régulation et marché vont se combiner. La question est donc plutôt de

savoir vers quel pôle le curseur va se déplacer sur l'axe régulation/marché. Il semble que la création de règles constitue la première étape incontournable d'un changement à long terme. Sur cet axe, le curseur se positionne donc plutôt du côté de la régulation. En effet, la mise en place d'un cadre normatif favorise et fluidifie généralement l'organisation des activités. La seconde question consiste à savoir si cette régulation va être plutôt publique ou privée. Comme on l'a vu dans le premier scénario, la régulation publique bute sur des tensions géopolitiques. La première étape pour modifier les comportements à long terme semble donc être la mise en place d'une régulation privée, illustrée dans la figure 6.

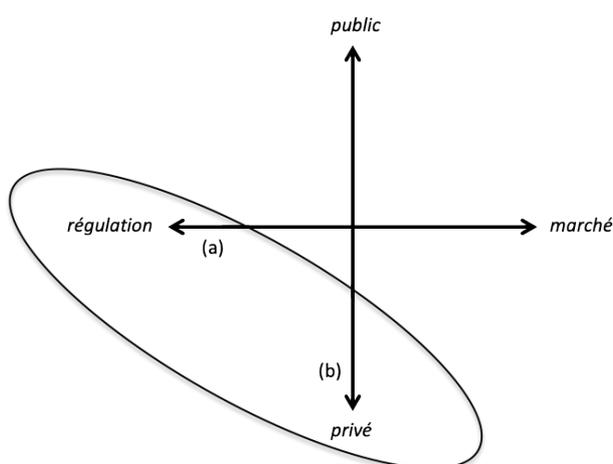


Figure 6 : impulser par la régulation privée

Dans la gestion des méta-problèmes, la réputation des acteurs privés constitue un levier puissant de modification des comportements (Breitinger & Bonardi, 2019; C. Fombrun, 2001; C. J. Fombrun & Fombrun, 1996). Les firmes peuvent être considérées non pas comme socialement responsables par nature, mais comme socialement responsabilisées par le champ dans lequel elles se trouvent (Bastianutti & Dumez, 2012). Par ailleurs, la réputation d'une firme peut avoir des répercussions sur l'ensemble du secteur. On parle alors de réputation collective : « La réputation d'un secteur s'établit sur la base des réputations individuelles des firmes. Si une des firmes se comporte mal, le secteur dans son ensemble sera jugé comme s'étant mal comporté » (Tucker, 2008, p. 7). Cette solidarité réputationnelle encourage la coordination des entreprises (Winn et al., 2008). Celle-ci peut aller jusqu'à la création d'une méta-organisation. En 2019, un groupe d'acteurs privés, dont des industriels historiques, des startups spécialisées, des assureurs et des propriétaires de méga-constellations, s'est rassemblé pour créer la Space Safety Coalition. Tous ses membres, formant une communauté vertueuse privée, se sont engagés à respecter plusieurs best practices pour gérer plus durablement leurs activités spatiales. Cette

forme de régulation privée s'inscrit dans le phénomène plus général de la standardisation qui a conduit à la publication du standard ISO de 2011.

Ce scénario imagine donc un renforcement de la régulation privée. Dans un tel cas de figure, les firmes sont les acteurs impulsant des changements de comportement par le biais de règles auxquelles elles adhèrent d'autant plus facilement qu'elles les ont elles-mêmes élaborées (Brunsson & Jacobsson, 2005). Entre firmes, ces règles se diffusent souvent via les relations fournisseurs/sous-traitants. Elles peuvent également toucher les acteurs publics, les normes adoptées par les plus vertueux finissant par s'appliquer aussi aux moins vertueux.

Nettoyer : service public ou marché privé ?

La résolution du problème du nettoyage, même si elle implique la formulation de règles, se situe plutôt du côté de l'activité. En effet, aller désorbiter les débris implique de réaliser des avancées technologiques significatives et doit passer par le développement d'un marché, plutôt que par la seule création de normes. Il s'agit de mobiliser des acteurs autour d'un problème collectif qui se déploie sur le long terme et dont le retour sur investissement reste incertain. Deux scénarios d'activités sont alors envisageables : le service public ou le marché classique. Il nous a semblé nécessaire d'explorer ces deux scénarios et de comparer leurs forces et leurs limites respectives.

Le premier suppose la création d'un marché public de type monopolistique. Solidaires, les États pourraient constituer un fond international destiné à la création d'un nouvel acteur neutre, interétatique et responsable du nettoyage des orbites. Cet organisme non-lucratif deviendrait l'éboueur public de l'espace et serait chargé de désorbiter les débris dangereux avec ou sans l'aval du pays lanceur. En effet, pour la première fois dans le cadre d'un méta-problème de développement durable, une action collective internationale réussirait à émerger pour résoudre un problème commun. Elle supposerait d'engager financièrement l'ensemble des acteurs, à hauteur de leurs moyens respectifs et de leur présence en orbite, dans le cadre d'une mutualisation des coûts (avec un système de redevance analogue à celui du contrôle aérien). Une telle initiative aurait un poids symbolique considérable, présenterait l'avantage d'une répartition des coûts entre pays et d'une approche civile du problème. Mais la plupart des acteurs interrogés ayant participé à ce type de négociation internationale en soulignant la lenteur et le caractère épuisant. De plus, le multilatéralisme apparaît menacé depuis quelques années.

Pour toutes ces raisons, la création d'un marché privé, seconde option (présentée dans la figure 7), apparaît à moyen terme comme possible, et sans doute plus plausible, malgré le montant extrêmement élevé des investissements requis. L'augmentation des risques financiers liés aux collisions potentielles va sensibiliser les acteurs privés et leurs clients à la nécessité de trouver des solutions. La condition nécessaire est de créer et d'organiser ce marché. Cette création et cette organisation supposent une action collective des firmes. Les offreurs et demandeurs potentiels sont plus nombreux qu'il y a quelques années mais leur nombre reste relativement limité. On pourrait alors imaginer une forme d'action collective minimale, reposant sur des contacts intermittents et informels. Néanmoins, il est probable que cette forme d'organisation souple soit insuffisante, notamment pour élaborer les règles. Dès lors, un petit groupe d'acteurs pourrait prendre l'initiative de créer une méta-organisation. Un simple syndicat professionnel étant sans doute insuffisant, la méta-organisation pourrait à la fois coordonner directement des actions, mais être aussi un opérateur sur le marché (ne serait-ce qu'en lançant et en animant des projets de nettoyage) et se positionner comme régulateur (en concevant des règles et en suivant – monitoring – les comportements). Une telle configuration est assez rare, mais elle peut exister. Elle ressemble par exemple à ce qu'a été la Companhia Geral das Vinhas do Alto Douro qui organisait le marché des vins de Porto (Duguid, 2015).

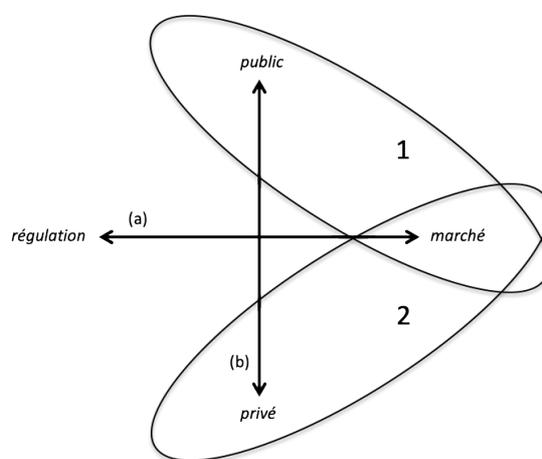


Figure 7 : nettoyer par le service public ou le marché classique

La figure qui précède montre les deux possibilités de coordination par le marché qui ont été discutées. La première suppose des négociations internationales lourdes entre États, la seconde une coordination plus souple, avec néanmoins la création probable d'une méta-organisation, scénario qui semble le plus plausible à moyen terme. Une combinaison des deux scénarios

(marché classique et service public) sous la forme d'un partenariat-public privé est bien sûr envisageable. En effet, de nombreux partenariats de ce type se sont déjà développés autour des débris spatiaux. Par exemple, l'ESA et OneWeb ont signé, dans le cadre du projet Sunrise en 2019, un partenariat avec la startup japonaise Astroscale pour gérer la fin de vie des satellites envoyés au cours du programme.

Conclusion

La gestion des méta-problèmes ressemble à une tâche herculéenne. L'horizon temporel s'étend dans le passé et se projette loin dans l'avenir, et trois dimensions émergent. Concernant le passé, il faut nettoyer les écuries d'Augias, c'est-à-dire éliminer tout ce qui s'est accumulé au fil du temps sur les orbites terrestres. Il faut également gérer tout de suite les multiples têtes de l'hydre de Lerne, ou plutôt les problèmes qui surgissent en permanence et au jour le jour, en évitant la catastrophe. Il faut enfin inventer les solutions qui stabiliseront et régleront le problème dans le futur et changer les comportements, comme Hercule a saisi par les cornes et dompté le taureau de Crète.

Concrètement, on distingue deux axes de tension critique dans le méta-problème : le type d'acteurs, public ou privé, ainsi que le moyen de coordination utilisé, le marché ou la régulation. Ils font apparaître quatre scénarios de gestion d'un commun. Pour chaque dimension du méta-problème, un ou deux scénarios sont identifiés comme les plus plausibles et correspondent aux caractéristiques de la situation.

Afin d'enrichir et de confirmer cette grille de lecture d'un méta-problème, il serait intéressant d'établir une comparaison avec un cas similaire. Travailler ces mêmes scénarios dans le cas du plastique dans les océans, par exemple, ou de la transmutation des déchets nucléaires, pourrait faire apparaître les spécificités de chaque problème. Est-ce que les trois dimensions s'articulent de la même manière ? Est-ce que le choix des quatre pôles (acteurs publics et privés, marché ou régulation) reste valable ? Répondre à ces questions permettrait de confirmer ou d'infirmer la pertinence de notre analyse, mais également de faire apparaître la spécificité du méta-problème des débris spatiaux par rapport à un cas analogue.

Références

- Abbott, A. (2001). *Time matters : On theory and method*. University of Chicago Press.
- Abbott, K. W., & Snidal, D. (2000). Hard and soft law in international governance. *International organization*, 54(3), 421-456.
- Abell, P. (2004). Narrative explanation : An alternative to variable-centered explanation? *Annu. Rev. Sociol.*, 30, 287-310.
- Ahrne, G., Aspers, P., & Brunsson, N. (2015). The organization of markets. *Organization Studies*, 36(1), 7-27.
- Ahrne, G., & Brunsson, N. (2008). *Meta-organizations*. Edward Elgar.
- Alby, F., Arnould, J., & Debus, A. (2007). *La pollution spatiale sous surveillance*. Ellipses.
- Arrow, K. J. (1974). *The limits of organization*. WW Norton & Company.
- Baiocchi, D. (2010). *Confronting Space Debris : Strategies and Warnings from Comparable Examples Including Deepwater Horizon*. Rand Corporation.
- Barrett, S. (2003). *Environment and statecraft : The strategy of environmental treaty-making : The strategy of environmental treaty-making*. OUP Oxford.
- Bastianutti, J., & Dumez, H. (2012). Pourquoi les entreprises sont-elles désormais reconnues comme socialement responsables? *Annales des Mines-Gérer et comprendre*, 3, 44-54.
- Berkowitz, H., & Dumez, H. (2016). The concept of meta-organization : Issues for management studies. *European Management Review*, 13(2), 149-156.
- Bonnal, C. (2016). *Pollution spatiale : L'état d'urgence* (Belin).
- Breitinger, D., & Bonardi, J.-P. (2019). Firms, breach of norms, and reputation damage. *Business & Society*, 58(6), 1143-1176.
- Brunsson, N., & Jacobsson, B. (Éds.). (2005). *A World of Standards* (Reprinted). Univ. Press.
- Brunsson, N., Rasche, A., & Seidl, D. (2012). The dynamics of standardization : Three perspectives on standards in organization studies. *Organization studies*, 33(5-6), 613-632.
- Büthe, T., & Mattli, W. (2013). *The new global rulers : The privatization of regulation in the world economy*. Princeton University Press.
- Cartwright, T. J. (1987). The lost art of planning. *Long Range Planning*, 20(2), 92-99.
- Chaddha, S. (2012). An inquiry for an institutional arrangement to govern the space commons. Available at SSRN 2194631.
- Duguid, P. (2015). *De Londres à Porto : Une description du marché international du vin au XVIIIe siècle*.
- Dumez, H. (2016). *Méthodologie de la recherche qualitative : Les questions clés de la démarche compréhensive*. Vuibert.
- Fombrun, C. (2001). *Corporate reputation as economic assets* eds. Hitt, M. Freeman, R. & Harrison, J. Handbook of Strategic Management, Oxford.
- Fombrun, C. J., & Fombrun, C. J. (1996). *Reputation : Realizing Value from the Corporate Image*. Harvard Business School Press.
- Fournier, V. (2013). *Commoning : On the social organization of the commons*. *M@n@gement*, 16(4), 433. <https://doi.org/10.3917/mana.164.0433>
- Hardin, G. (2018). *La tragédie des communs*. Presses universitaires de France.
- Kessler, D. J. (1993). A partial history of orbital debris : A personal view. *Orbital Debris Monitor*, 6(4), 10-16.
- Kessler, D. J., & Cour Palais, B. G. (1978). Collision frequency of artificial satellites : The creation of a debris belt. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 83(A6), 2637-2646.

- Miles, M. B., & Huberman, A. M. (2003). *Analyse des données qualitatives*. De Boeck Supérieur.
- Ostrom, E. (1990). *Governing the commons : The evolution of institutions for collective action*. Cambridge University Press.
- Pasco, X. (2017). *Le nouvel âge spatial. De la Guerre froide au New Space*. Cnrs.
- Pinkham, R., & Chaplin, S. (1996). *Water 2010 : Four scenarios for 21st century water systems*.
- Piore, M. (2006). Qualitative research : Does it fit in economics? *European Management Review*, 3(11), 17-23.
- Quinn Patton, M. (2002). *Qualitative research and evaluation methods*. Sage.
- Reinecke, J., Manning, S., & Von Hagen, O. (2012). The emergence of a standards market : Multiplicity of sustainability standards in the global coffee industry. *Organization studies*, 33(5-6), 791-814.
- Saint-Martin, A. (2016). Du Big Sky à l'espace pollué : L'effet boomerang des débris spatiaux. *Mouvements*, 87(3), 36. <https://doi.org/10.3917/mouv.087.0036>
- Salter, A. W. (2015). Space Debris : A Law and Economics Analysis of the Orbital Commons. *Stan. Tech. L. Rev.*, 19, 221.
- Schoemaker, P. J. (1995). Scenario planning : A tool for strategic thinking. *Sloan management review*, 36(2), 25-50.
- Schwartz, P. (2012). *The art of the long view : Planning for the future in an uncertain world*. Currency.
- Tucker, A. (2008). Trade associations as industry reputation agents : A model of reputational trust. *Business and Politics*, 10(1), 1-26.
- von der Dunk, F. (2015). *Handbook of space law*. Edward Elgar Publishing.
- Wiebe, K., Zurek, M., Lord, S., Brzezina, N., Gabrielyan, G., Libertini, J., Loch, A., Thapa-Parajuli, R., Vervoort, J., & Westhoek, H. (2018). Scenario development and foresight analysis : Exploring options to inform choices. *Annual Review of Environment and Resources*, 43, 545-570.
- Winn, M. I., MacDonald, P., & Zietsma, C. (2008). Managing industry reputation : The dynamic tension between collective and competitive reputation management strategies. *Corporate reputation review*, 11(1), 35-55.

Article 2. Nouvelles dynamiques du secteur spatial : Startups et débris spatiaux.

Le cas Astroscale.

Résumé

Le secteur spatial traverse une série de bouleversements, entre l'apparition de nouveaux acteurs du New Space et la redéfinition des rôles des acteurs étatiques. Nous proposons d'analyser ces mutations à travers le cas de la start-up japonaise Astroscale, pionnière sur le marché du nettoyage spatial. Ce cas révèle l'importance grandissante du problème des débris au sein de l'activité spatiale, mais également l'apparition de nouveaux entrepreneurs visionnaires et le rôle joué par les États dans la création de nouveaux marchés.

Introduction

Le secteur spatial connaît très probablement une mutation profonde sur la nature de laquelle il est loisible de s'interroger. Des technologies permettent aujourd'hui aux satellites de manœuvrer dans l'espace, ce qui change la nature même des activités possibles. De nouveaux opérateurs, inattendus, sont apparus en quelques années, comme Elon Musk et SpaceX, et ils peuvent, avec des projets de méga-constellations, bouleverser la donne spatiale. Pour autant, les États restent présents, à la fois sur le plan civil et sur le plan militaire. Il est difficile de donner une vue d'ensemble des évolutions en cours. Cet article a choisi de les étudier à partir d'un cas, celui d'une start-up conçue pour participer à la résolution du problème de l'augmentation des débris dans l'espace due à la multiplication des lancements et des activités, Astroscale.

En 2013, Nobu Okada, un entrepreneur japonais passionné par l'espace, se lance un défi ambitieux : créer une entreprise destinée à participer au nettoyage des débris spatiaux. Moins de dix ans plus tard, la start-up Astroscale a réussi à s'imposer comme un acteur de pointe sur la question des débris et à convaincre de la possibilité d'un marché du nettoyage de l'espace. Dans un premier temps, cet article présente la manière dont elle s'est imposée progressivement comme un acteur institutionnel au sein de la communauté des débris spatiaux, communauté composée de tous les acteurs qui se sont saisis de ce problème global (États, ONU, OCDE, World Economic Forum, agences spatiales, industriels). Dans un second temps, nous nous interrogeons sur les enseignements que l'on peut tirer de ce cas sur la dynamique du secteur

spatial dans son ensemble. Nous en distinguons trois. D'abord, il permet de montrer l'importance grandissante du problème des débris spatiaux et le défi que leur gestion, et notamment la création d'un marché du nettoyage, pose à l'ensemble des parties prenantes. Ensuite, il met en lumière l'apparition d'un nouveau type d'acteurs, entrepreneurs visionnaires, désormais responsables des grandes ambitions du spatial. Enfin, il souligne le rôle encore central que joue le secteur public dans la création et le maintien de toute forme de marché.

1. Le cas Astroscale

Né en 1973, Nobu Okada est un entrepreneur japonais qui a fait fortune dans le secteur des nouvelles technologies. Après une formation initiale en agriculture à l'Université de Tokyo, il travaille plusieurs années au sein du ministère des Finances japonais. En parallèle, il suit un programme de MBA à l'Université de Purdue, qui va l'amener à quitter le ministère des Finances pour l'entreprise McKinsey. Il dirige ensuite plusieurs entreprises informatiques avant de réussir à introduire en bourse une start-up d'applications pour smartphones fondée à Singapour. Mais Nobu Okada est aussi passionné par l'espace. Une même anecdote revient toujours dans les courtes biographies qui lui sont consacrées : adolescent, il a rencontré à l'occasion d'un space camp de la NASA le premier astronaute japonais, Mamoru Mohri, qui lui a remis une note manuscrite dans laquelle était écrite : « Space is waiting for your challenge »³⁰. Fortune faite, à près de quarante ans, Nobu Okada décide de se consacrer à ses rêves d'enfant. Il commence par se renseigner sur l'état du secteur spatial et découvre le problème des débris spatiaux. Dans cette question de développement durable qui commence à préoccuper la communauté spatiale, il voit une opportunité de marché. Il crée en 2013, sur des fonds propres, la start-up Astroscale consacrée au nettoyage des débris spatiaux. Il est décrit comme un personnage très charismatique, excellent vendeur, passionné par ce projet un peu fou. Une première équipe de space sweepers ou nettoyeurs de l'espace, comme se surnomment les employés d'Astroscale, se constitue.

À ses débuts, l'entreprise n'a pas encore de business model solide sur lequel s'appuyer. Elle vivote grâce à des missions de communication, comme le Lunar Dream Capsule Project qui vise à envoyer sur la Lune une canette de Pocari Sweat, une boisson japonaise commercialisée par la marque Otsuka Pharmaceutical, dans laquelle seront gravés des rêves de jeunes

³⁰ Notice biographique "Nobu Okada. Founder & CEO, Astroscale Holdings", sur le blog du Space Forum (<https://www.spaceforum.com/blog/nobu-okada>). Et <https://krannert.purdue.edu/people/nobu-okada.php>.

Japonais³¹. La start-up fonctionne avec une vingtaine de personnes dirigées par un ancien membre de la JAXA, l'agence spatiale japonaise. En 2015, une levée de fonds permet de doubler les effectifs. L'équipe s'étoffe. Tous ses membres se disent passionnés par le projet et la vision de leur dirigeant. On les sent investis d'une véritable mission. Astroscale réussit à attirer des professionnels du secteur spatial (anciens membres d'agences spatiales, industriels, experts juridiques) qui connaissent bien les ressorts de cette communauté. Grâce à eux, la start-up gagne en légitimité et en visibilité. Des représentants participent aux conférences internationales comme l'International Astronautical Congress (IAC), rendez-vous international de l'ensemble de la communauté spatiale depuis 1950³², la European Space Debris Conference, créée en 1993 au début de l'institutionnalisation du problème des débris³³, ou encore, plus récente, l'International Orbital Debris Conference dont la première édition s'est tenue en 2019³⁴. Ils s'efforcent d'inscrire l'entreprise dans le paysage institutionnel³⁵ et d'avoir une voix dans les forums de régulation où leur présence est systématique. L'activité de Nobu Okada illustre parfaitement cette progressive intégration dans la communauté spatiale. Membre d'un groupe spatial du World Economic Forum, de la Royal Aeronautical Society, il a été élu en octobre 2020 vice-président de la Fédération Internationale d'Astronautique (IAF), la plus importante organisation non-gouvernementale du secteur spatial, créée au début des années 1950.

L'expansion d' Astroscale se fait non seulement auprès de plusieurs types d'acteurs, mais également de manière géographique puisqu'elle s'est progressivement implantée dans plusieurs régions du monde. Depuis sa création, Astroscale est largement soutenue par l'agence spatiale japonaise (JAXA) qui voit en elle la possibilité de faire rayonner l'industrie spatiale japonaise à travers le monde et se dit prête à soutenir fortement la start-up. Astroscale fait partie d'un programme de R&D appelé J-SPARC Program³⁶, a remporté la bourse « Innovation Tokyo

³¹ <http://lunar-dream.com/en/>

³² C. Weeden *et alii*, "Industry implementation of the Long-Term Sustainability Guidelines: An Astroscale perspective", in *70th International Astronautical Congress (IAC)*, October 2019.

³³ M. Okada, A. Okamoto, K. Fujimoto et M. Ito, "Maximizing post mission disposal of mega constellations satellites reaching end of operational lifetime", in *ESA 7th European Conference on Space Debris*, ESOC, Germany, 2017.

³⁴ C. Weeden *et alii*, "Development of global policy for active debris removal services", in *First International Orbital Debris Conference*, 2019.

³⁵ M. Weinzierl, A. Acocella et M. Yamazaki, "Astroscale, Space Debris, and Earth's Orbital Commons", Harvard Business School Case 9-716-037, 2017.

³⁶ JAXA Space Innovation through Partnership and Co-creation, programme mis en place en 2018 et dont le but est d'accompagner un groupe d'une vingtaine de start-ups du secteur spatial dans leur développement et notamment dans la consolidation de leur *business plan*.

Project » de 4,5 millions de dollars et a gagné l'appel à projets de la JAXA pour le programme de désorbitation CRD2. Plus récemment, la start-up a également développé des liens étroits avec le Royaume-Uni, où elle a ouvert un bureau en 2017. En 2018, elle remporte en effet une bourse du gouvernement britannique afin de développer un projet national visant à construire une nouvelle installation en orbite pour faciliter le développement des activités de services. Astroscale participe également à un projet de recherche développé par l'Université de Southampton pour approfondir la question du calcul de risque de collisions. Ce projet repose sur le test du modèle DAMAGE (Debris Analysis and Monitoring Architecture to the Geosynchronous Environnement) développé par le professeur Hugh Lewis, membre de l'Astronautics Resarch Group de l'Université de Southampton et personnalité reconnue au sein de la communauté des débris spatiaux. Un autre bureau est ouvert aux États-Unis en 2019, où Astroscale participe à des groupes de discussion entre industriels qui y sont implantés, comme CONFERS (Consortium for Execution Rendez-vous and Servicing Operations) chapeauté par la DARPA³⁷, et la Space Safety Coalition³⁸. Depuis le rachat de l'entreprise Effective Space Solutions R&D Ltd. en janvier 2020, Astroscale dispose également d'une antenne en Israël. Le tableau ci-après retrace l'historique financier de la start-up via ses levées de fonds.

| | | | |
|--------------|------------------------------------|-----------------|--|
| Février 2015 | Série A | 7,7 millions \$ | |
| Mars 2016 | Série B | 35 millions \$ | Ouverture d'un bureau au UK |
| Mars 2017 | Série C | 25 millions \$ | |
| Juillet 2018 | Bourse du gouvernement britannique | 4 millions \$ | |
| Octobre 2018 | Série D | 50 millions \$ | Ouverture d'un bureau aux USA (Denver) |
| Avril 2019 | Série D (suite) | 30 millions \$ | |

³⁷ Sur la Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA), l'agence du département de la Défense américaine chargée des projets de recherche avancés, cf. P. Barbaroux et V. dos Santos Paulino, « Le rôle de la Défense dans l'émergence d'une nouvelle industrie : le cas de l'industrie spatiale », *Innovations*, n° 42, 2013, p. 39-58.

³⁸ Un groupement d'entreprises et d'associations souhaitant s'engager à respecter des normes et standards autour du problème des débris, c'est-à-dire un dispositif d'action collective d'entreprises : voir H. Dumez et S. Renou, *How Business Organizes Collectively. An Inquiry on Trade Associations and Other Meta-Organizations*, Cheltenham- Northampton (MA), Edward Elgar, 2020.

| | | | |
|--------------|---------------------------------|-----------------|--|
| Janvier 2020 | Bourse du gouvernement japonais | 4,5 millions \$ | Rachat de l'entreprise israélienne Effective Space Solutions R&D Ltd |
| Octobre 2020 | Série E | 51 millions \$ | |

Historique des levées de fonds d'Astroscale, d'après les actualités présentées sur le site Internet de l'entreprise <https://astroscale.com/news-events/>

Astroscale est d'abord une start-up technologique qui intervient sur le segment du retrait actif des débris. Ce segment recouvre un ensemble de solutions technologiques à l'étude visant la désorbitation, c'est-à-dire le retrait de débris déjà en orbite. Plusieurs types de technologies sont avancées, qui font actuellement l'objet de démonstrations en orbite³⁹ : les technologies push (contact rigide), pull (contact flexible) et contactless (sans contact)⁴⁰. La première repose sur le principe du bras robotique qui attrape un débris. La seconde rassemble des technologies comme des filets, des harpons ou des grappins qui tirent le débris hors de son orbite. La troisième fait référence à l'utilisation de technologies sans contact ou de « soufflage », qui fonctionnent grâce au jet de moteurs ioniques ou de faisceaux d'électrons. Les ingénieurs d'Astroscale choisissent de développer une technologie de la première catégorie établissant un contact d'adhérence à l'aide d'une force électromagnétique⁴¹. Cette solution présente l'avantage d'être plus légère que d'autres technologies de désorbitation, et surtout de pouvoir nettoyer plusieurs débris à la fois avant de retomber dans l'atmosphère. À partir d'une technologie clé, Astroscale a développé plusieurs activités parallèles autour de la gestion des débris.

La première relève de l'Active Debris Removal, qui désigne le retrait d'objets inactifs et non-coopératifs déjà présents en orbite. Cette activité constitue le cœur de métier d'Astroscale, et est souvent présentée comme une priorité. En 2020, la JAXA lance un appel à projets pour un programme appelé CRD2 (Jaxa Commercial Removal of Debris Demonstration Project). Il consiste à désorbiter le second étage d'un lanceur japonais (H IIA), un gros débris de 20 tonnes. Il est prévu que cette mission se déroule en deux phases, avec un premier lancement en 2023 pour collecter des données sur le débris visé puis sa désorbitation prévue en 2026. Astroscale a

³⁹ M. C. Priyant et K. Surekha, "Review of Active Space Debris Removal Methods", *Space Policy*, vol. 47, février 2019, p. 194-206.

⁴⁰ M. Shan, J. Guo et E. Gill, "Review and comparison of active space debris capturing and removal methods", *Progress in Aerospace Sciences*, vol. 80, 2016, p. 18-32.

⁴¹ R. Nanda et M. Weinzierl, "Financing Astroscale", Harvard Business School Case 817-025, novembre 2016.

remporté cet appel à projets, lui permettant de financer le développement de sa technologie principale. Une autre activité importante concerne la gestion de la fin de vie (End-Of-Life) de satellites coopératifs, c'est-à-dire ayant été conçus pour pouvoir être approchés par un autre satellite. Astroscale travaille sur un projet de ce type depuis sa création⁴². En 2017, un premier satellite IDEA OSG1 est lancé, puis perdu avant d'avoir pu récolter des données sur le débris cible. La mission change de nom et devient ELSA-d (End of Life Servicing by Astroscale – Demonstration). Elle consiste à lancer deux satellites en même temps. Le premier est un satellite Client fourni par le Surrey Satellite Technology Ltd. (SSTL) et équipé d'une plaque magnétique. Le second est un satellite Chasseur, construit par Astroscale, qui doit s'y arrimer. La démonstration comporte à la fois une dimension de rendez-vous (docking), de capture magnétique et de désorbitation et vise la capture de satellites de petite taille (jusqu'à 500 kg). Elle nécessite que les satellites soient préalablement dotés de ces petites plaques aimantées permettant la manœuvre de docking. Après avoir été repoussé à plusieurs reprises, le lancement de la mission a été réalisé en mars 2021⁴³. C'est aussi dans cette perspective que se développe le projet Sunrise, en partenariat avec l'Agence Spatiale Européenne (ESA), Altius et l'opérateur OneWeb afin d'installer les plaques sur chacun des satellites de la méga-constellation. Il est également possible de prolonger la durée de vie des satellites (On-Orbit Servicing) en les réparant ou en les rechargeant en carburant par exemple. La filiale américaine d'Astroscale, récemment ouverte, se concentre plus particulièrement sur ce type de projet sur des orbites géostationnaires situées à près de 36 000 km d'altitude et sur lesquelles tout objet reste en permanence au-dessus du même point du globe. Cette particularité intéresse surtout les opérateurs de télécommunications qui se disputent les places. Celles-ci sont attribuées et régulées par une arène de techno-diplomatie : l'International Telecommunication Union⁴⁴. En 2018, la start-up a décroché une bourse du gouvernement britannique pour développer une plate-forme nationale en orbite permettant de piloter des opérations de servicing. Cette

⁴² C. Blackerby *et alii*, "The ELSA-d End-of-life Debris Removal Mission: Preparing for Launch", in *70th International Astronautical Congress*, 2019.

⁴³ "Astroscale celebrates successful launch of ELSA-d, 23 mars 2021, brève publiée en ligne [<https://astroscale.com/astroscale-celebrates-successful-launch-of-elsa-d/>].

⁴⁴ Sur les orbites géostationnaires, voir A. D. Roth, *La prohibition de l'appropriation et les régimes d'accès aux espaces extra-terrestres*, Genève, Publications de l'Institut Universitaire de Hautes Études Internationales, Paris, PUF, 1992 ; P. Griset, « Entre technique, entreprises et politique. Une histoire de la gestion internationale des ressources hertziennes », *Culture technique*, n° 24, 1992, p. 122-129 ; V. Cambazard, *Ordre juridique spatial et marchandisation des fréquences*, Sarrebruck, Éditions universitaires européennes, 2017. Sur l'International Telecommunication Union, cf. G. Balbi et A. Fickers (eds.), *History of the International Telecommunication Union (ITU). Transnational Tech- no-Diplomacy from the Telegraph to the Internet*, Berlin-Boston, Walter de Gruyter, 2020, en particulier N. Wormbs et L. R. Rand, "Techno-Diplomacy of the Planetary Periphery, 1960s-1970s", p. 297-320, et V. Schafer, "The ITU Facing the Emergence of the Internet, 1960s-Early 2000s", p. 321-344.

installation servira de support pour la mission ELSA-d, mentionnée plus haut. Astroscale n'est pas la première ni la seule entreprise à voir une opportunité de marché sur cette activité de service en orbite et plus largement sur cette activité de retrait en orbite⁴⁵. D'autres entreprises développent des solutions similaires, comme la start-up italienne D-Orbit.

Aujourd'hui, Astroscale est la première entreprise privée d'Active Debris Removal et l'entreprise spatiale la plus financée au Japon avec un total de 191 millions d'euros dans les cinq dernières années. Elle est devenue un acteur central dans la question des débris, grâce à la création de liens institutionnels forts et à son implantation internationale. L'entreprise se positionne principalement sur l'activité de retrait de débris, mais également sur d'autres segments proches comme le prolongement de la durée de vie ou le service en orbite. Jusqu'à présent, aucune démonstration en orbite n'a été menée par Astroscale. Le but déclaré est la création d'un nouveau marché autour du nettoyage spatial. Si un tel marché apparaît, Astroscale vise un avantage concurrentiel de pionnier (first mover advantage)⁴⁶.

2. Analyse du cas

Que montre le cas Astroscale sur la dynamique actuelle du secteur spatial ? Trois points paraissent importants. D'une part, la prise de conscience du fait que la multiplication des lancements et des satellites a fini par créer un problème majeur lié à l'existence de multiples débris qui pourrait à terme menacer toute opération dans l'espace. D'autre part, l'apparition de nouveaux opérateurs, parmi lesquels se distingue la figure du riche entre-preneur idéaliste et passionné par l'espace, qui viennent s'ajouter aux acteurs traditionnels que sont les États et les agences spatiales. Enfin, le cas permet de s'interroger sur la relation du secteur spatial au marché, et plus particulièrement sur l'évolution du rapport entre secteur public et secteur privé.

2.1. La montée en importance du problème des débris

À l'époque de la création d'Astroscale, en 2013, personne ne croit vraiment en l'existence d'une opportunité de marché autour d'une problématique de type environnemental. Certes, il est prouvé depuis longtemps que le nombre d'objets artificiels augmente sur les orbites terrestres,

⁴⁵ L'Agence Spatiale Européenne (ESA) a passé un contrat avec la start-up suisse ClearSpace pour lancer la mission de retrait de débris CleanSpace-1.

⁴⁶ Voir notamment A. D. Chandler, *Organisation et performance des entreprises*, t. I, Paris, Éditions d'Organisation, 1992.

accroissant le risque de collisions dangereuses qui pourraient conduire, par un effet exponentiel, à rendre l'espace impossible à utiliser. Si les experts s'accordent sur la nécessité de faire évoluer les comportements des acteurs dans l'espace et de désorbiter les débris les plus dangereux⁴⁷, la mise en œuvre de tels projets soulève de grandes difficultés⁴⁸. La technologie permettant d'approcher et de saisir un objet non-coopératif n'est pas encore stabilisée. Le coût d'une mission de désorbitation est estimé entre 10 et 30 millions d'euros et présente des risques très élevés (si la mission conduit à une collision entre le satellite chasseur et le satellite chassé, elle entraînera elle-même une multitude de nouveaux débris). Or il existe un vide juridique sur l'attribution de la responsabilité en cas d'accident. Enfin, ces technologies sont duales : sur le plan technique, désorbiter un débris revient au même que de tuer un satellite actif⁴⁹. Les militaires sont donc particulièrement attentifs à ce qui peut se développer en matière de désorbitation. Pour toutes ces raisons, aucun acteur ne veut endosser la responsabilité de la situation, ni surtout financer le développement de ces programmes.

Il s'agit d'un cas classique d'action collective⁵⁰ ou de « tragédie des communs », dans lequel l'intérêt particulier (maximiser le nombre de satellites en orbite) entre en contradiction avec l'intérêt collectif (financer le nettoyage des orbites pour garantir l'utilisation de l'espace aux générations futures). Les deux solutions avancées par Garrett Hardin⁵¹ pour résoudre la tragédie des communs, c'est-à-dire le recours à l'État ou au marché, ne semblent pas pouvoir s'appliquer simplement. Malgré l'existence de groupes de travail au sein des forums internationaux comme le COPUOS⁵², les États ne parviennent pas à tomber d'accord sur une régulation internationale suffisamment contraignante pour être efficace. Du côté des acteurs privés, les initiatives sont timides. Pire, le développement de projets de méga-constellations comme Starlink ou OneWeb pourrait faire exploser le nombre de satellites en orbite, et avec lui les risques de nouvelles collisions.

La question des débris est aujourd'hui devenue un problème central du secteur spatial, inscrite à l'agenda de tous les forums de discussion. Elle se déploie sur plusieurs dimensions puisqu'il

⁴⁷ C. Bonnal, *Pollution spatiale, l'état d'urgence*, Paris, Belin, 2016.

⁴⁸ A. Saint-Martin, « Du *Big Sky* à l'espace pollué : l'effet boomerang des débris spatiaux », *Mouvements*, n° 87, automne 2016, p. 36-47.

⁴⁹ B. Dobos et J. Prazak, "To Clear or to Eliminate? Active Debris Removal Systems as Antisatellite Weapons", *Space Policy*, vol. 47, février 2019, p. 217-113.

⁵⁰ M. Olson, *La logique de l'action collective*, Paris, PUF, 1978.

⁵¹ G. Hardin, "The tragedy of the commons", *Science*, vol. 162, n° 3859, 1968, p. 1243-1248 (et G. Hardin, *La tragédie des communs*, Paris, PUF, 2018).

⁵² Committee on the Peaceful Uses of Outer Space, créé par l'ONU en 1958.

faut à la fois modifier le comportement des acteurs, nettoyer les débris déjà présents et réussir à gérer le trafic spatial pour limiter les collisions. Ce défi est global et concerne aussi bien les acteurs publics que privés. Sa résolution requiert l'implication et la coordination de tous.

2.2. L'apparition de nouveaux entrepreneurs visionnaires.

Le secteur spatial a vu apparaître de nouveaux types d'acteurs, parmi lesquels on distingue la figure récurrente du riche entrepreneur passionné par l'espace. Incarné par Jeff Bezos ou Elon Musk⁵³ au sein du secteur spatial en général, on le retrouve joué à une autre échelle par Nobu Okada dans le problème des débris. Ces personnages charismatiques partagent plusieurs points communs. D'abord, leur conception de l'espace dépasse la simple ambition commerciale. Chacun d'entre eux a forgé une vision particulière, qui relève de la conquête de Mars pour Musk par exemple, de la démocratisation de l'accès à l'espace pour Jeff Bezos, ou du nettoyage des débris pour Okada. Ces rêves spatiaux étaient jadis portés par des politiques et les agences spatiales, à l'instar du pari lunaire de Kennedy pour la NASA. Aujourd'hui, ils sont l'apanage d'entrepreneurs idéalistes, comme Elon Musk, qui revendique des objectifs bien plus ambitieux que ceux de la NASA⁵⁴. Le pouvoir d'attraction de ces nouvelles entreprises illustre bien ce glissement : de nombreux talents quittent les firmes traditionnelles ou les agences spatiales pour rejoindre l'aventure. Ces nouveaux acteurs partagent une autre particularité. Au-delà de leur rôle d'acteur privé, ils ont progressivement pris une place importante au sein des institutions et du processus de régulation. Plus que de simples entrepreneurs, ils sont devenus des entrepreneurs institutionnels, qui façonnent le secteur autant si ce n'est davantage que les acteurs publics. Comme les marchés n'existent pas encore pour la plupart ou restent très fragiles, les nouveaux acteurs ont une double facette : ils ont le profil d'entrepreneurs au sens traditionnel du terme, opérant sur le marché, et celui d'entrepreneurs institutionnels, cherchant à peser sur les acteurs publics de leur environnement pour qu'ils soutiennent la création et le développement des marchés. Nobu Okada et Astroscale sont particulièrement représentatifs de cette double dimension, puisque la start-up s'est d'abord développée à l'échelle nationale au Japon avant de s'étendre à l'international et de pénétrer les différentes sphères d'influence du secteur.

⁵³ A. Vance, *Elon Musk. Tesla, Paypal, SpaceX : l'entrepreneur qui va changer le monde*, édition enrichie, Paris, Eyrolles, 2017.

⁵⁴ X. Pasco, *Le nouvel âge spatial. De la Guerre froide au New Space*, Paris, CNRS Éditions, 2017.

2.3. Le rôle des acteurs étatiques dans la création d'un marché.

On pourrait penser que le secteur spatial est en train de basculer dans le marché. Mais la situation paraît plus complexe. Le cas Astroscale illustre particulièrement bien les relations complexes entre public et privé, et le rôle des États et des acteurs publics dans la création des marchés. Dans le cas des débris, la meilleure perspective de marché tourne autour de la gestion de la fin de vie (End-Of-Life) et du service en orbite (On-Orbit Servicing), que nous regroupons sous le nom de servicing. Les opérateurs de satellites seraient potentiellement enclins à financer un service de réparation ou d'entretien des objets dans l'espace lorsqu'il devient nécessaire de prendre en compte les dégâts collatéraux posés par la perte d'un de leurs satellites. C'est notamment le cas sur les orbites géostationnaires situées à 36 000 km d'altitude. Les places y sont chères, puisqu'un satellite survole constamment le même point sur la Terre, ce qui permet par exemple en météorologie de suivre en temps réel les masses nuageuses au-dessus d'un pays. Perdre un satellite sur cette orbite constitue une perte particulièrement sensible pour son propriétaire. C'est dans cette zone orbitale que se concentrent d'ailleurs les projets de servicing les plus avancés, et qu'a eu lieu la première démonstration de rendez-vous orbital opéré par l'entreprise Northrop Grumman⁵⁵. Les problèmes peuvent également être importants au sein de méga-constellations, puisque la perte d'un satellite menace directement le reste de la flotte qui gravite sur un même plan orbital. Mais ce marché, quoique prometteur, n'existe pas à l'heure actuelle. Nombre d'incertitudes persistent quant à sa réelle apparition, l'avenir commercial des méga-constellations n'étant pas assuré.

Dans le cas des débris spatiaux comme dans le reste du secteur spatial, les acteurs traditionnels que sont les gouvernements et les agences spatiales continuent de jouer un rôle majeur. Dans le cas d' Astroscale, ce sont les financements des gouvernements britannique et japonais qui ont permis à la start-up de survivre et de se développer. L'objectif affiché des agences spatiales nationales et européenne est de s'appuyer sur la start-up pour développer des nouvelles opportunités technologiques et susciter l'émergence d'une activité commerciale là où elle n'aurait pas pu émerger d'elle-même. Ainsi les agences spatiales sont les premières clientes du marché de l'Active Debris Removal, mais elles en sont également les premiers architectes.

⁵⁵ K. Chang, "An Orbital Rendezvous Demonstrates a Space Junk Solution", *The New York Times*, 26 February 2020, accessible en ligne [<https://www.nytimes.com/2020/02/26/science/mev-1-northrop-grumman-space-junk.html>].

Le rôle de l'État dans la création et le développement des capacités technologiques a été étudié tout au long du XX^e siècle⁵⁶. Plus récemment, Mariana Mazzucato s'est penchée sur la réorientation des modalités d'action de l'État ou d'agences⁵⁷, et décrit ce type de phénomène en parlant plus largement d'État entrepreneur⁵⁸, à l'initiative des programmes de recherche et du développement technologique. Selon elle, « [...] l'État a osé penser l' « impossible », envers et contre tout : créer une nouvelle opportunité technologique ; consacrer les vastes investissements initiaux qui se révélaient nécessaires ; permettre à un réseau décentralisé d'acteurs de se lancer dans une recherche risquée ; enfin, favoriser le déclenchement dynamique du processus de développement et de commercialisation »⁵⁹. Dans un contexte national, on voit que SpaceX s'appuie sur le soutien financier et matériel de la NASA, sans laquelle l'entreprise ne pourrait pas exister⁶⁰. Si le rôle des acteurs traditionnels évolue⁶¹, ils continuent donc à jouer un rôle pivot dans la création et le maintien du marché. Cette dynamique se retrouve dans l'ensemble du secteur spatial, et est peut-être encore plus visible dans le cas des débris spatiaux. Plutôt que le basculement du secteur spatial vers le marché et la marchandisation des activités spatiales, c'est à des reconfigurations des relations public-privé que nous semblons assister avec le développement de régulations articulant, elles aussi, public et privé

⁵⁶ D. Pestre, *Science, argent et politique : un essai d'interprétation*, Paris, INRA-Quae, 2003 ; D. Edgerton, *Warfare State: Britain, 1920-1970*, Cambridge, Cambridge University Press, 2006.

⁵⁷ M. Mazzucato et D. K. R. Robinson, "Directing vs. Facilitating the Economic Development of Low Earth Orbit", in P. Besha et A. McDonald (eds.), *Economic Development of Low Earth Orbit*, Washington, NASA, 2016, p. 113-130.

⁵⁸ M. Mazzucato, *L'État entrepreneur. Pour en finir avec l'opposition public-privé*, Paris, Fayard, 2020.

⁵⁹ *Ibid.*, p. 66.

⁶⁰ H. E. McCurdy, *Financing the New Space Industry: Breaking Free of Gravity and Government Support*, Cham, Springer Nature, 2019, en particulier p. 45-55.

⁶¹ L. Heracleous, D. Terrier et S. Gonzalez, "NASA's Capability Evolution Toward Commercial Space", *Space Policy*, vol. 50, novembre 2019, art. n° 101330.

Article 3. Le rôle des analogies et des métaphores dans un *grand challenge* : le cas des débris spatiaux

Résumé

La multiplication des débris spatiaux menace l'ensemble des activités spatiales. La gestion de ce problème complexe, relevant de la catégorie des *grand challenges*, nécessite un effort de cadrage et de coordination des acteurs. À partir de cette étude de cas, l'auteure propose d'analyser le recours des acteurs aux analogies et aux métaphores pour catégoriser le problème et imaginer de nouvelles solutions. Les résultats permettent de préciser la distinction entre analogies et métaphores ainsi que leurs rôles respectifs dans la compréhension et la structuration des *grand challenges*. L'auteur montre que ces deux figures de style sont interdépendantes et complémentaires.

Introduction

En avril 2021, l'astronaute français Thomas Pesquet embarquait dans la capsule Crew Dragon pour rejoindre la station spatiale internationale et effectuer son deuxième séjour dans l'espace. Ce type de mission n'est pas sans danger. La dépressurisation constitue un des principaux risques : le moindre impact avec un objet extérieur peut la provoquer et mettre en péril l'ensemble de l'équipage. Les astronautes doivent donc manœuvrer plusieurs fois par an pour éviter des collisions potentiellement catastrophiques avec des débris spatiaux. Or le nombre de ces objets augmente régulièrement depuis le début de la conquête spatiale et particulièrement ces dernières années avec la multiplication des lancements de nano-satellites et de méga-constellations. Ils se concentrent particulièrement sur les orbites basses, jusqu'à 2000 kilomètres d'altitude, sur lesquelles se trouvent de nombreux satellites de télécommunication, d'observation de la Terre et de météorologie. Les débris spatiaux sont aujourd'hui reconnus comme une menace pour l'ensemble des activités spatiales.

Le problème est de nature complexe : les parties prenantes sont hétérogènes (acteurs publics et privés, nationaux et internationaux), elles ont des visions parfois contradictoires du problème (espace civil et espace militaire) et elles peuvent recourir à des mécanismes de gestion variés (régulation, marché) (Bonnal, 2016; Toussaint & Dumez, 2020). On est face à ce que Ferraro et al. (2015) appellent un *grand challenge*, comme le changement climatique ou la santé

publique. L'étude de ces problèmes empiriques extrêmes constitue un champ de recherche récent mais significatif pour les sciences de gestion (George et al., 2016).

En l'absence de frontières claires et de par leur caractère singulier, les *grand challenges* sont difficiles à catégoriser. Par ailleurs, leur résolution suppose l'action collective et la coordination des parties prenantes, reposant sur des processus de communication (Phillips & Oswick, 2012). Ceux-ci impliquent notamment l'usage d'analogies et de métaphores, établissant « des similitudes dans les propriétés ou les relations sous-jacentes entre deux domaines spécifiques » (Cornelissen et al., 2011, p. 1705) de façon plus ou moins explicite. Analogies et métaphores permettent un processus de légitimation (Etzion & Ferraro, 2010) et créent de nouvelles connaissances (Ricoeur, 1975). Cependant, la littérature en gestion a tendance à les appréhender indistinctement, sans différencier de façon claire leur rôle respectif dans la compréhension des problèmes organisationnels. Par ailleurs, elle porte principalement sur des situations organisationnelles classiques, très différentes des grands challenges. Notre question de recherche est donc la suivante : quels rôles distinctifs jouent les analogies et les métaphores dans la compréhension et la structuration d'un *grand challenge* ?

Pour répondre à cette question, nous avons donc choisi de nous appuyer sur le cas d'un *grand challenge* complexe et singulier : le problème des débris spatiaux. À partir de l'analyse d'une série de 22 entretiens, nous proposons d'étudier la manière dont les analogies et les métaphores sont utilisées par les acteurs du problème. L'article est structuré en trois temps. Dans une première partie, nous définissons les analogies et les métaphores dans une perspective linguistique et philosophique avant de les envisager dans les situations organisationnelles. Ensuite, nous présentons les différentes analogies et métaphores utilisées par les acteurs pour structurer leur réflexion sur le problème des débris spatiaux. Nous discutons ces résultats dans une troisième partie en formulant trois propositions théoriques. D'abord, nous proposons une clarification des rôles respectifs des analogies et des métaphores dans un *grand challenge* : les analogies permettent de catégoriser le problème, alors que les métaphores permettent d'imaginer de nouvelles solutions. Ensuite, nous montrons que les analogies et les métaphores sont interdépendantes. Puis nous suggérons que, face à un *grand challenge*, les acteurs mobilisent une grande diversité de métaphores et d'analogies, ce qui leur permet d'exprimer la complexité de ces problèmes singuliers.

1. Analogies et métaphores comme outils stratégiques

En sciences de gestion, les analogies et les métaphores ont toujours fait l'objet d'une attention particulière. Si les chercheurs s'en sont emparés pour décrire leur objet d'étude et pour forger de nouveaux concepts théoriques (Tsoukas, 1993), elles ont également été envisagées comme des outils stratégiques aux mains des acteurs (J. P. Cornelissen et al., 2011). Nous commençons par définir et distinguer analogies et métaphores, avant de préciser le rôle stratégique qu'elles peuvent jouer dans un contexte organisationnel.

1.1. Définir et distinguer analogies et métaphores

L'analogie désigne une expérience de pensée qui s'appuie sur la découverte de similitudes entre deux phénomènes de nature différente. Son schéma de relation peut être résumé de cette manière : « A est comme B ». Dans l'approche classique aristotélicienne, l'analogie est rapprochée de la métaphore, toutes deux étant décrites comme une recherche de ressemblances. Néanmoins, dans les théories modernes, la métaphore est conçue comme un déplacement ou une « erreur catégorielle » (Ryle, 1949). Elle se traduit par la proposition « A est B » alors que A, justement, n'est pas B. Selon Ricœur (1975), c'est de l'écart, ou plutôt de l'effort de réduction de l'écart entre ces deux éléments, que peut émerger un sens. Par ailleurs, A et B n'ont pas le même statut. Le premier est désigné comme « teneur » et le second comme « véhicule ». Au-delà de son rôle poétique, la métaphore est omniprésente dans notre quotidien en ce qu'elle mêle le langage et l'action (Lakoff & Johnson, 1985). Comme Schön, (1963), Ricœur conçoit la métaphore comme un programme d'action en la présentant comme une « innovation sémantique » qui permet, lorsqu'elle est « vive », de penser la nouveauté (Dumez, 2018). À l'opposé, on trouve des métaphores « mortes » qui ne réussissent plus à créer d'écart par rapport au sens initial. Morgan (1996, p. 228) résume : « Nous utilisons consciemment de nouvelles métaphores pour explorer et comprendre le nouveau. Mais, implicitement, nous utilisons également ce que l'on peut appeler une “vieille métaphore” pour négocier ce que nous savons déjà, ou pensons savoir. »

Dans la littérature en gestion, certains articles se réfèrent à l'analogie (e.g., Etzion & Ferraro, 2010), d'autres uniquement à la métaphore (e.g., Cornelissen, 2005). Pour Gentner et al., (2001), la différence entre les deux repose principalement sur une question de degré. Elles sont donc envisagées dans le prolongement l'une de l'autre, sans être clairement distinguées. Certaines études, plus rares, s'efforcent d'articuler les deux en distinguant leur rôle par exemple dans le changement stratégique (e.g., Cornelissen et al., 2011). Nous nous inscrivons dans la

continuité de cet effort en posant la question suivante : faut-il effectivement penser l'analogie et la métaphore l'une comme l'autre ou l'une par rapport à l'autre ?

1.2. Le rôle des analogies et des métaphores dans les situations organisationnelles

Les analogies et les métaphores sont envisagées par la littérature en gestion comme jouant plusieurs rôles stratégiques. Elles permettent d'abord de construire un discours du changement. Par exemple, Gioia et al. (1994) décrivent les étapes successives d'un changement institutionnel au sein d'une université publique à travers les symboles et métaphores utilisés dans le discours des acteurs. D'autre part, les analogies et les métaphores permettent de renforcer la légitimité des acteurs (Etzion & Ferraro, 2010). Enfin, elles font émerger des cadres communs, auparavant invisibles (J. P. Cornelissen, 2005). Néanmoins, certaines études remettent en question ces perspectives. Dans certains cas, le recours aux analogies et aux métaphores peut avoir un effet néfaste (Oswick et al., 2002) et finir par se retourner contre leur énonciateur qui, par peur de sortir de sa zone de confort, va ignorer de larges pans du problème qui se pose à lui. La littérature présente donc le rôle des analogies et des métaphores selon deux dynamiques paradoxales. D'un côté, elles sont perçues comme des outils permettant de construire le changement institutionnel, de légitimer les acteurs et de faire émerger un nouveau cadre. De l'autre, elles peuvent aussi être source de confusion, voire de manipulation, et devenir un obstacle à ce même processus.

Si les études qui constituent la littérature en gestion sur les analogies et les métaphores s'attachent à décrire leur rôle dans les processus organisationnels, on constate qu'elles s'appuient uniquement sur des situations classiques. Elles se situent par exemple à l'échelle d'une initiative (e.g. Etzion & Ferraro, 2010), d'une fédération d'organisations (e.g. Arciniegas et al., 2018), d'un secteur particulier (e.g. Bingham & Kahl, 2013) ou d'une profession (e.g. Tourish & Hargie, 2012). Or un *grand challenge* présente un cas empirique extrême qui combine des dimensions inter organisationnelles, multisectorielles, interprofessionnelles, à un niveau global. Cet article vise donc à observer le rôle que peuvent jouer les analogies et les métaphores dans la compréhension et la structuration d'un *grand challenge*.

2. Analyse des analogies et des métaphores dans le cas des débris spatiaux

2.1. Des analogies pour catégoriser le problème et transposer des solutions existantes

Depuis les années 1960, l'espace extra-atmosphérique est fréquemment comparé à d'autres communs globaux comme les océans, l'espace aérien et l'Antarctique (Peterson, 1997). Ces analogies classiques sont utiles mais peuvent masquer certaines caractéristiques propres à l'espace, comme l'absence d'écosystème vivant, les notions de mouvement, de risque, ainsi que la liberté d'action des acteurs. Ainsi, ces analogies traditionnelles, bien que toujours utilisées par les politiques et les médias, sont considérées par certains experts comme une menace pour la construction de la gouvernance spatiale (Mendenhall, 2018). Pour décrire le problème des débris, les personnes que nous avons interrogées ont toujours recours aux analogies classiques, comme les océans et l'espace aérien, mais utilisent aussi d'autres analogies comme celle du changement climatique. Nous distinguons trois types de problèmes utilisés pour évoquer la question des débris spatiaux : un problème environnemental, un problème de trafic transfrontalier et un problème de gestion des déchets.

Méthodologie

Notre étude repose sur une série de 22 entretiens réalisés entre juin 2019 et juin 2020 dans 17 organisations. Les personnes rencontrées représentent les principales parties prenantes du problème des débris spatiaux (agences spatiales, États, firmes, start-up, universités, organisations internationales, délégations diplomatiques). Les entretiens semi-directifs, d'une durée d'une à trois heures, ont été menés à une échelle internationale en Europe (France, Allemagne, Royaume-Uni, Pays-Bas, Belgique), aux États-Unis, au Brésil et au Japon. Un ensemble de données secondaires, composé d'articles scientifiques, de rapports officiels et d'articles de presse, est venu compléter ce matériau.

Le traitement de notre matériau a été réalisé en trois étapes. Une lecture en attention flottante (Dumez, 2021) a d'abord été réalisée dans l'intention de repérer des formes métaphoriques. Lors de cette première lecture, il est apparu que, contrairement au postulat de la littérature, les acteurs n'employaient pas les métaphores et les analogies de la même manière. Nous avons donc réalisé un codage afin de comprendre où résidait la distinction entre analogies et métaphores. En nous inspirant de la méthodologie présentée par (J. Cornelissen, 2006) et appliquée par (Tourish & Hargie, 2012), nous avons identifié tous les passages contenant des références à des champs analogiques et métaphoriques. Ces passages ont ensuite été

rassemblés et codés de manière multithématique (Ayache & Dumez, 2011) en veillant à toujours prendre en compte leur contexte d'énonciation. Une troisième étape a permis d'approfondir notre compréhension de la façon dont analogies et métaphores étaient utilisées de manière distincte grâce à un processus de comparaison des unités de sens codées sous les deux thèmes (analogies et métaphores).

Un problème environnemental

Les problèmes environnementaux constituent un premier ensemble de situations auxquelles sont souvent comparés les débris spatiaux. L'analogie récurrente est celle du changement climatique. Pour les acteurs, ces deux problèmes ont en commun d'être irrémédiables et difficilement perceptibles. Un expert explique : « On est exactement dans la même problématique que les questions de pollution atmosphérique. C'est exactement la même chose, parce que le jour où les preuves seront irréfutables, les conséquences seront irrémédiables ». Un autre décrit la mission de l'IADC (Inter- Agency Space Debris Coordination Committee ou Comité inter-agence de coordination des débris spatiaux, groupe technique composé d'experts d'agences spatiales) en la comparant à celle du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat). Établir des analogies avec d'autres problématiques environnementales permet aux acteurs de légitimer leur action. C'est également un moyen de soumettre à la réflexion des solutions déjà appliquées ailleurs. Les acteurs évoquent la création de labels, « avec des vignettes A, B, C, comme pour les lave-vaisselles », pour noter la durabilité des lancements, ou la mise en place d'une écotaxe : « Il faut regarder en droit international, la déclaration de Stockholm, le droit de l'environnement. L'idée de pollueur-payeur y est développée, et ça pourrait être utile pour traiter les débris. »

Un problème de trafic transfrontalier

Une autre analogie concerne les problèmes de trafic à l'échelle globale. Il s'agit principalement d'enjeux de régulation. Dans plusieurs de nos entretiens, les acteurs ont évoqué la possibilité de créer un acteur international neutre, à l'image de l'OACI (Organisation de l'aviation civile internationale), pour « récupérer des fees, mettre des amendes peut-être, et du coup financer ». Cette éventualité est également défendue dans des articles de recherche : « Le modèle de l'OACI a certainement fonctionné pour l'aviation commerciale. Appliqué au trafic

spatial, l'objectif serait d'atteindre une même transparence, une même stabilité et une même fiabilité. » (Larsen, 2018, p. 505). Néanmoins, l'espace aérien se distingue de l'espace extra-atmosphérique par de nombreux aspects. Un interviewé souligne l'absence de frontières nationales : « Il y a deux spécificités à l'activité spatiale par rapport à l'aérien. Un problème en haut est un problème commun qui peut demeurer pendant des centaines d'années. Or, il n'y a pas de zone nationale. Pour fonctionner, un avion doit se coordonner avec des régulateurs nationaux. Il a fallu faire des accords internationaux. Une fois dans l'espace, je suis dans une zone internationale. Je n'ai besoin d'aucune autorisation pour faire ce que je veux faire. » La situation est également très différente sur les aspects militaires. Un acteur explique : « On sait si un avion est civil ou militaire. Mais un satellite peut à la fois être utilisé à des fins civiles et militaires. »

Un problème de gestion des déchets

Un parallèle est établi avec la gestion des déchets à l'échelle globale et plus particulièrement avec la pollution plastique dans les océans. Comme dans le problème des débris spatiaux, il s'agit d'un environnement difficile à maîtriser dans lequel les déchets se répandent de façon incontrôlable. On a aussi conscience de la nécessité de nettoyer ce qui est déjà répandu, mais également d'arrêter de produire de nouveaux déchets : « Beaucoup d'organismes et d'associations visent à récupérer le plastique en pleine mer ou dans les plus grands fleuves. D'autres essayent de limiter la production. On retrouve l'idée de produire moins et d'enlever ce qui existe ». Certains de nos interlocuteurs soulignent également les différences entre ces deux problèmes notamment au niveau de la régulation. Par exemple, il n'existe pas dans l'espace de « loi de sauvetage » permettant de s'approprier des épaves abandonnées, ce qui complique la régulation sur la désorbitation : « Des débris qui sont déjà là-haut, s'ils ne m'appartiennent pas, je ne peux pas les ramener. Il n'y a pas de loi de sauvetage, comme en haute mer. Si un bateau flotte et que personne ne s'y trouve, quelqu'un peut simplement aller le prendre, même s'il bat pavillon japonais. Ce n'est pas le cas dans l'espace. »

2.2. Des métaphores pour imaginer de nouvelles solutions

Au-delà des analogies avec des problèmes existants, notre analyse a également permis de mettre en évidence des métaphores récurrentes. Contrairement aux analogies, dans l'utilisation de ces

métaphores, la comparaison n'est pas soulignée par l'énonciateur. On peut distinguer deux métaphores particulièrement prégnantes dans l'ensemble de nos entretiens. D'une part, les acteurs évoquent le champ métaphorique du Far West pour décrire le comportement des acteurs. D'autre part, ils ont recours à la métaphore de l'automobile pour penser le problème dans son ensemble, pour exprimer sa complexité et pour imaginer de nouvelles solutions à mettre en œuvre.

La métaphore du Far West

Le Far West constitue un champ métaphorique très présent dans l'univers du spatial. Il sert d'abord à décrire le comportement de certains acteurs. L'image des « Space Cowboys » est très répandue dans la culture populaire. Au-delà du film éponyme de Clint Eastwood, sorti en 2000, l'expression est souvent associée au personnage d'Elon Musk, dirigeant de SpaceX, qui cultive cette esthétique. Dans le cas des débris spatiaux, cette métaphore sert à condamner le comportement de certains cow-boys qui considèrent l'espace comme un lieu où chacun peut faire ce qu'il veut. Le champ métaphorique du Far West permet également de souligner un changement de paradigme dans le secteur spatial. Un expert explique : « Avant, on avait les grosses agences et les gros industriels. On pouvait faire, expérimenter, standardiser. On est maintenant dans un monde de cow-boys ». Le champ métaphorique du Far West symbolise donc l'apparition d'une menace pour la stabilité d'un monde organisé. Enfin, cette image est également utilisée pour illustrer le vide juridique propre au secteur spatial. Un article du *Monde*, daté du 2 avril 2021, s'intitule « Face au risque d'un Far West spatial, la nécessité de gérer le trafic ». Il résonne avec un article paru dans *Les Échos* en août 2019 qui titrait « Satellites : l'Europe veut éviter un Far West dans l'espace ». Dans ces articles de presse qui viennent appuyer nos entretiens, la métaphore du Far West est utilisée de manière pédagogique, pour attirer l'attention du public sur ce problème.

La métaphore de l'automobile

Une autre métaphore se distingue : celle de l'automobile. Cette métaphore éclaire des particularités techniques du monde spatial, en symbolisant des routes (les orbites) empruntées par des véhicules (les satellites). Elle souligne également l'absence de règles : « On est suffisamment peu nombreux pour que chacun fasse ce qu'il veut. Un opérateur, sans se

coordonner avec les autres, choisit son orbite, choisit la manière d’y monter et d’en descendre. On est dans le désert et on roule à fond dans le brouillard sans trop avoir de risque de croiser quelqu’un. » D’autre part, elle permet d’imaginer de nouveaux systèmes d’action collective qui pourraient permettre de gérer le problème des débris spatiaux. Elle renvoie par exemple à la mise en place de services de dépannage ou de remorquage. Un interlocuteur explique : « En gros, vous achetez une voiture, l’État vous impose que ce soit vous qui l’amenez à la décharge. Si votre dispositif ne fonctionne pas, vous allez faire appel à un remorqueur ». Enfin, cette métaphore est utilisée par les acteurs pour imaginer les contours d’un potentiel marché du nettoyage spatial : « Si vous êtes sur une autoroute, que votre voiture tombe en panne, vous ne pouvez pas l’abandonner. Vous devez la faire remorquer. Le pari de [X] est que ce sera pareil dans l’espace lorsqu’il y aura des services de dépannage abordables financièrement. »

3. Discussion

Nos résultats ont permis d’identifier trois principaux types de problèmes auxquels les acteurs se réfèrent par analogies, ainsi que deux métaphores récurrentes utilisées pour imaginer de nouvelles solutions. Dans cette dernière partie, nous discutons nos résultats en adoptant une démarche abductive (David, 2000; Dumez, 2021). En effet, à partir d’une étude empirique, nous avançons trois propositions ou hypothèses, qui viennent prolonger la théorie existante.

Nos résultats mettent en évidence que les analogies et les métaphores jouent des rôles distincts et sont utilisées de manière différente par les acteurs. Les analogies servent à rapprocher le problème auquel les acteurs sont confrontés d’autres situations semblables (« c’est pareil ») et donc à suggérer la transposition de certains moyens (« il faut faire pareil »). Le discours des acteurs fourmille de rapprochements avec d’autres mécanismes de coordination, de régulation, de création de marché, que l’on retrouve même dans certains rapports officiels (e.g. Undseth et al., 2020). Par exemple, les acteurs évoquent la mise en place d’une agence internationale, similaire à l’OACI pour le trafic aérien, qui permettrait aux acteurs d’organiser le trafic spatial. Les analogies sont également utilisées comme repoussoir. Elles servent à souligner une spécificité ou écarter certains moyens en montrant que « ce n’est pas pareil » et donc qu’« il ne faut pas faire pareil ». Un interlocuteur explique : « Les analogies sont bonnes, mais jamais parfaites. Vous pouvez pêcher en haute mer, mais pas vous approprier la haute mer. Les poissons se reproduisent, mais pas les ressources lunaires. Est-ce qu’on peut vraiment

transposer aux débris ? Il faut être très prudent avec les analogies. » En établissant un rapprochement avec d'autres catégories connues, les analogies permettent de suggérer une transposition.

Les acteurs utilisent des métaphores dans une intention différente. Il s'agit de s'éloigner du cas original et de tester de nouvelles manières de considérer leur problème. Elles servent à imaginer de nouvelles solutions, innovantes et singulières, contrairement aux analogies qui mobilisent des solutions déjà connues et appliquées dans des contextes proches. La métaphore de l'automobile joue ainsi un véritable rôle d'innovation, en évoquant la mise en place d'un remorquage, d'un système d'assurance, etc. On pourrait penser qu'il s'agit d'une analogie, c'est-à-dire d'une situation préexistante que l'on essaie de transposer. Cependant, l'écart entre les deux situations (route et espace) est tel qu'il s'agit bien d'une métaphore au sens de Ricoeur. En effet, les notions de dépannage et de remorquage, orientent vers des solutions techniquement très sophistiquées qui doivent être inventées contrairement, par exemple, à la transposition de l'OACI à l'espace. Cette métaphore repousse les frontières existantes et déplace l'ensemble du problème dans un champ métaphorique nouveau et fertile. Elle suggère également un programme d'action, à travers la possibilité de former un nouveau marché de services en orbite. Ainsi, plutôt que de chercher des similitudes, les métaphores permettent de transcender les catégories existantes et confirment leur rôle d'outil d'innovation (Ricoeur, 1975; Schön, 1963).

Proposition 1. *Dans un grand challenge, analogies et métaphores jouent des rôles distincts. En plaçant dans une même catégorie des problèmes différents mais présentant des caractéristiques proches, les analogies permettent d'identifier des solutions déjà mises en œuvre dans d'autres contextes pour essayer de les transposer ; au contraire, les métaphores, en tant qu'erreurs catégorielles, permettent d'envisager des solutions innovantes.*

Nous proposons de rapprocher le couple formé par les analogies et les métaphores des dimensions d'exploitation et d'exploration avancées par James March (March, 1991). Les analogies permettent en effet de catégoriser et de réfléchir sur les moyens existants à utiliser ou à éviter, relevant plutôt de l'exploitation, alors que les métaphores permettent d'imaginer de nouvelles solutions, relevant plutôt de l'exploration. La différence entre analogie et métaphore n'est donc pas seulement une question de degré, comme le suggèrent (Gentner et al., 2001), mais porte également sur leurs nature et rôle. Pour March, chacune des dimensions d'exploitation et d'exploration est également essentielle à l'organisation. De la même manière, les analogies et les métaphores jouent certes des rôles distincts, mais elles sont toutes deux

nécessaires à la compréhension et la structuration d'un *grand challenge*. En effet, ne raisonner que par analogie peut limiter fortement l'innovation. Répliquer des solutions issues de situations semblables sans prendre en compte certaines spécificités du problème pourrait s'avérer contre-productif. Par exemple, le problème du changement climatique, plus médiatisé et dont les parties prenantes sont plus nombreuses, ne peut servir de seul modèle pour résoudre le problème des débris spatiaux. D'autre part, le recours unique à l'exploration paraît insuffisant pour produire les bénéfices justifiant les coûts de son expérimentation. On imagine qu'une métaphore puisse avoir du mal à se traduire par la mise en place de moyens concrets s'ils sont trop éloignés du sujet initial ou trop abstraits. Par exemple, la création d'un système de remorquage – inspiré de la métaphore de l'automobile – est une entreprise extrêmement complexe, coûteuse et difficile à justifier auprès des acteurs, très éloignée de la pratique du remorquage sur autoroute. Il n'en va pas de même pour la création d'une taxe ou d'un écolabel, dont la mise en place est plus facilement concevable pour les acteurs. À l'image des dimensions d'exploitation et d'exploration de March, les analogies et les métaphores apparaissent comme des phénomènes distincts mais profondément complémentaires.

Proposition 2. *Dans un grand challenge, les analogies et les métaphores entretiennent une relation de complémentarité : les unes ne vont pas sans les autres.*

Analogies et métaphores se complètent de la même manière que l'on combine exploitation et exploration. Notre étude empirique a mis en évidence une autre dimension : la grande diversité des analogies et des métaphores utilisées par les acteurs du problème des débris spatiaux. Ils évoquent le changement climatique, le plastique dans les océans, le trafic aérien, l'automobile, le Far West, etc. Cette diversité est sans doute liée à la complexité des *grand challenges* : chacun est unique et se distingue des autres. Dès lors, seule une pluralité d'analogies et de métaphores semble pouvoir le caractériser dans toutes leurs facettes. Analogies et métaphores se recoupent en partie, mais couvrent en même temps des facettes différentes du problème. Par exemple, les deux métaphores récurrentes du Far West et de l'automobile dénoncent toutes deux le comportement de certains acteurs (chauffards ou cow-boys), ainsi que l'absence de règles. Cependant, chacune renvoie à des conceptions singulières, voire opposées, du problème des débris spatiaux. La métaphore de l'automobile évoque la mise en place d'un marché de remorquage et de dépannage, alors que la métaphore du Far West met plutôt l'accent sur les comportements individuels des acteurs et suggère que chacun devrait s'auto-discipliner.

L'analogie avec le changement climatique permet quant à elle de suggérer des mécanismes qui obligerait les acteurs à s'impliquer, comme la mise en place de labels ou d'une taxe, alors que l'analogie avec le plastique dans les océans évoque les initiatives de certains acteurs pour nettoyer. Se développe donc un répertoire d'analogies et de métaphores auquel les acteurs ont recours lorsqu'ils souhaitent souligner telle ou telle facette du problème. Les analogies et les métaphores qui composent ce répertoire se recoupent et se complètent, reflétant le caractère paradoxal des *grand challenges*.

Proposition 3. *Dans un grand challenge, les acteurs mobilisent une grande diversité de métaphores et d'analogies, ce qui leur permet de gérer la complexité de ces problèmes singuliers.*

Conclusion

Alors que la littérature les envisage dans le prolongement l'une de l'autre (Gentner et al., 2001), nous avons cherché à caractériser les rôles respectifs des analogies et des métaphores dans la compréhension et la structuration d'un *grand challenge*, sur le cas des débris spatiaux. Les analogies permettent selon nous de catégoriser le problème sur le mode de l'exploitation, alors que les métaphores servent à imaginer de nouvelles solutions sur le mode de l'exploration (March, 1991). Dès lors, analogies et métaphores se complètent et les acteurs jouent de leur diversité pour appréhender les différentes facettes des *grand challenges*. Cet article propose enfin une contribution managériale. En effet, clarifier la distinction entre analogies et métaphores permet aux acteurs du problème de prendre conscience du fait qu'ils s'inscrivent alternativement dans des logiques d'exploitation ou d'exploration. Dans cette perspective, la créativité en matière d'analogies et de métaphores apparaît nécessaire pour couvrir l'ensemble des facettes du problème. En même temps, une certaine prudence doit rester de mise : le raisonnement par analogie et métaphore comporte des limites intrinsèques qu'il convient de garder à l'esprit.

Dans la perspective d'une nouvelle boucle d'abduction, il serait utile d'étudier de manière plus systématique le rapport entre les situations d'exploitation et d'exploration dans le discours des acteurs. L'étude de cette dynamique pourrait être réalisée dans d'autres *grand challenges* ou dans des contextes organisationnels plus classiques. Cela pourrait mener à observer des phénomènes d'ambidextrie organisationnelle (Mahmoud-Jouini et al., 2007; Mothe & Brion, 2008), dans lesquels coexistent des logiques d'exploitation et d'exploration.

Bibliographie

- Arciniegas, C. A., Reinecke, J., & Bento Da Silva, J. A. (2018). The Role of Metaphors in Making Sense of the Future—A Collective and Temporally Embedded Process. *Academy of Management Proceedings*, 2018(1), 15091. <https://doi.org/10.5465/AMBPP.2018.15091abstract>
- Ayache, M., & Dumez, H. (2011). Le codage dans la recherche qualitative une nouvelle perspective? *Le Libellio d'Aegis*, 7(2-Eté), 33-46.
- Bingham, C. B., & Kahl, S. J. (2013). The process of schema emergence : Assimilation, deconstruction, unitization and the plurality of analogies. *The Academy of Management Journal*, 56(1), 14-34.
- Bonnal, C. (2016). *Pollution spatiale : L'état d'urgence* (Belin).
- Cornelissen, J. (2006). Metaphor in Organization Theory : Progress and the Past. *The Academy of Management Review*, 31(2), 485-488. JSTOR. <https://doi.org/10.2307/20159216>
- Cornelissen, J. P. (2005). Beyond Compare : Metaphor in Organization Theory. *The Academy of Management Review*, 30(4), 751-764. JSTOR. <https://doi.org/10.2307/20159166>
- Cornelissen, J. P., Holt, R., & Zundel, M. (2011). The role of analogy and metaphor in the framing and legitimization of strategic change. *Organization Studies*, 32(12), 1701-1716.
- David, A. (2000). Logique, épistémologie et méthodologie en sciences de gestion : Trois hypothèses revisitées. In *Les nouvelles fondations des sciences de gestion* (p. 83-109). Vuibert-FNEGE.
- Dumez, H. (2018). Comment penser la nouveauté : Le rôle de la métaphore comme discours et pratique de l'innovation. *Le Libellio d'AEIGIS*, 14(3), 43-55.
- Dumez, H. (2021). *Méthodologie de la recherche qualitative : Les questions clés de la démarche compréhensive*. Vuibert.
- Etzion, D., & Ferraro, F. (2010). The Role of Analogy in the Institutionalization of Sustainability Reporting. *Organization Science*, 21(5), 1092-1107. JSTOR.
- Ferraro, F., Etzion, D., Gehman, J., & Al. (2015). Tackling *Grand challenges* Pragmatically : Robust Action Revisited. *Organization Studies*, 3(36), 363-390.
- Gentner, D., Bowdle, B., Wolff, P., & Boronat, C. (2001). Metaphor is like analogy. *The analogical mind: Perspectives from cognitive science*, 199, 253.
- George, G., Howard-Grenville, J., Joshi, A., & Tihanyi, L. (2016). Understanding and Tackling Societal *Grand challenges* through Management Research. *Academy of Management Journal*, 59(6), 1880-1895. <https://doi.org/10.5465/amj.2016.4007>
- Gioia, D. A., Thomas, J. B., Clark, S. M., & Chittipeddi, K. (1994). Symbolism and Strategic Change in Academia : The Dynamics of Sensemaking and Influence. *Organization Science*, 5(3), 363-383. JSTOR.
- Lakoff, G., & Johnson, M. (1985). *Les métaphores dans la vie quotidienne* (Les Éditions de Minuit).
- Larsen, P. B. (2018). Solving the space debris crisis. *J. Air L. & Com.*, 83, 475.
- Mahmoud-Jouini, S. B., Charue-Duboc, F., & Fourcade, F. (2007). Favoriser l'innovation radicale dans une entreprise multidivisionnelle : Extension du modèle ambidextre à partir de l'analyse d'un cas. *Finance contrôle stratégie*, 10(3), 5-41.
- March, J. G. (1991). Exploration and exploitation in organizational learning. *Organization science*, 2(1), 71-87.

- Mendenhall, E. (2018). Treating Outer Space Like a Place : A Case for Rejecting Other Domain Analogies. *Astropolitics*, 16(2), 97-118.
<https://doi.org/10.1080/14777622.2018.1484650>
- Morgan, G. (1996). *Is there anything more to be said ? Teoksessa Grant, D. ja Oswick, C.(toim.)(1996) Metaphor and Organizations*. London, Thousand Oaks, New Delhi: Sage.
- Mothe, C., & Brion, S. (2008). Innovation : Exploiter ou explorer? *Revue française de gestion*, 7, 101-108.
- Oswick, C., Keenoy, T., & Grant, D. (2002). Metaphor and Analogical Reasoning in Organization Theory : Beyond Orthodoxy. *The Academy of Management Review*, 27(2), 294-303. JSTOR. <https://doi.org/10.2307/4134356>
- Peterson, M. J. (1997). The use of analogies in developing outer space law. *International Organization*, 51(2), 245-274.
- Phillips, N., & Oswick, C. (2012). Organizational discourse : Domains, debates, and directions. *Academy of Management Annals*, 6(1), 435-481.
- Ricoeur, P. (1975). *La métaphore vive* (Seuil). Seuil.
- Ryle, G. (1949). *The Concept of Mind* (Hutchinson&Co).
- Schön, D. (1963). *The Displacement of Concepts*. London, Routledge.
- Tourish, D., & Hargie, O. (2012). Metaphors of Failure and the Failures of Metaphor : A Critical Study of Root Metaphors used by Bankers in Explaining the Banking Crisis. *Organization Studies*, 33(8), 1045-1069. <https://doi.org/10.1177/0170840612453528>
- Toussaint, C., & Dumez, H. (2020). Gérer un méta-problème : Le cas des débris spatiaux. *Gérer & Comprendre*, 141, 3-12.
- Tsoukas, H. (1993). Analogical reasoning and knowledge generation in organization theory. *Organization studies*, 14(3), 323-346.
- Undseth, M., Jolly, C., & Olivari, M. (2020). *Space sustainability : The economics of space debris in perspective*. Rapport OECD.

Article 4. On the emergence of an Active Debris Removal market

Abstract

Developing an Active Debris Removal market poses a ‘chicken and egg’ problem. Under what conditions can an ADR market emerge? We explore two hypotheses: the ADR market develops as a segment of the On-Orbit Servicing, or it is a market in itself. Building on a database gathering ADR and OOS projects, we show that ADR displays original features. It gathers a large array of projects’ forms: public initiatives, private initiatives, as well as multiple forms of partnerships. We believe that this diversity will play a key role in overcoming the ‘chicken and egg’ issue.

Introduction

Economic theory has approached the question of markets emergence from the perspective of transaction costs (Williamson, 1975). Markets appear when transaction costs are low. However, recent research shows that this is not automatically the case. Markets are sophisticated institutions that require the construction of an architecture and categories shared by the actors (Jacobides, 2016; Fligstein, 2018; Navis & Glynn, 2010). Even when a new market seems promising, if the different players only achieve a weak compromise on market architecture due to their divergent interests, the market does not emerge, as illustrated in the case of mobile payments (Ozcan & Santos, 2015). In fact, the birth of a market is often a ‘chicken and egg’ paradox. For example, historically, the development of the automobile market was linked to the proliferation of gas stations, but these same gas stations could not multiply at a time when there were only a few cars. The electric vehicle market is currently experiencing the same situation (Gnann et al., 2015; Delacrétaiz et al., 2020; Zink et al., 2020; Viola, 2021). This paradox is ultimately soluble by the very dynamics of the market when the volume of products or services is very large, as it is the case with electric vehicles. However, from this point of view, we cannot compare the prospects for cleaning up space debris with those of the electric vehicle. Cleaning up space debris seems to be more of a niche in the sense of Helfat & Lieberman (2002). On the one hand, it poses a classic ‘chicken and egg’ problem: industry players wait for the market to be established before engaging in costly developments of new technologies, themselves necessary for the emergence of the market. On the other hand, despite the increasing number

of debris, the expected size of the market seems to remain quite limited. Finally, this market involves a large variety of players: the firms themselves, but also parent-company ventures (especially joint ventures) and new entrants (startups and entrepreneurial spin-offs).

The following question therefore arises: under what conditions can an Active Debris Removal market emerge?⁶² Two hypotheses seem possible. First, if this market is not in itself of sufficient size, it could nevertheless develop as a segment of a stronger market, that of On-Orbit Servicing (OOS), and benefit from of its dynamics. Second, the Active Debris Removal market could be a market in itself and, then, can only appear if forms of interaction and cost sharing between public and private actors develop. It is these two hypotheses that we propose to explore in the article.

To build our analysis, we carried out an inventory of On-Orbit Servicing and Active Debris Removal projects. From this database, we distinguish three categories of initiatives: those which are carried out by private actors, by public actors, or by both types of actors at the same time. In this last category, the role of the actors varies. Space agencies position themselves alternately as a sponsor or as financial support. At the same time, firms play the role of implementer in the development of technology or active creators of a new market.

We first present the methodology adopted. Then, we first come back to the definitions of On-Orbit Servicing and Active Debris Removal. Finally, we discuss these results by considering the Active Debris Removal market as a segment of On-Orbit servicing, or following its own dynamic.

1. Methodology

To explore the two hypotheses presented above, we decided to study the projects carried out to fight against the proliferation of debris. We adopted a qualitative methodology, based on the analysis of multiple cases (Yin, 2009; Dumez, 2016). This approach allows us to envision each case in a unique way, while facilitating the comparison between several projects of the same type.

Several steps were necessary to build a database of existing projects as complete as possible. First, we turned to the literature already reviewing and detailing multiple OOS projects (Davis,

⁶² We are aware of the importance of the legal and military issues (Martin, 2020; Tziouras, 2020; Alver et al. 2019), which condition the development of cleaning projects, but we have nevertheless chosen in this article to set aside these issues to deal with the issue from a market point of view alone.

2019; Li, 2019; Mark & Kamath, 2019). A first list of initiatives emerged from mixing the information found in these articles. Then, we tried to enrich this list with more recent projects that did not appear in the literature, such as the Airbus PERIOD project launched in 2021. We also added less publicized initiatives, such as JAXA's CRD2 project. Most of the research was carried out using data available online, in space agencies' annual reports, in international conferences' proceedings, and in specialized journals. We do not claim to have listed each and every project that exist or have existed. Our data collection cannot be exempt from biases, given that some projects are not covered by media or even remain systematically confidential in certain countries. However, we consider that our database covers a large part of the existing projects, as it relies on mixed sources of information such as the existing literature and information from space agencies. This dataset should be considered as a base that could be completed for example by carrying out additional interviews with the stakeholders.

Then, we gathered more precise information on each of the projects identified. We relied on public documents, as well as articles in specialized literature or international conferences proceedings describing the development of a mission. (e.g. Schervan et al., 2017; Graziano et al., 2017). In some cases, we found open access presentations (e.g. the sales presentation of the Altius Bulldog satellites). Finally, on a more ad hoc basis, press releases have enabled us to specify the funding methods or the progress of the missions (e.g. the press release of the new PERIOD project from Airbus). For each project identified, a list of recurring criteria has been established. They are divided into four categories: the main features of the project, the timeline, the structure of the project, the technology developed. Table 1 details the database structure.

| Category | Sub-category | Description |
|---------------|-------------------|--|
| Main Features | Organizer | Name of the main actor of the project |
| | Country of design | Country where the project was first developed |
| | Type of project | Mission, Demonstration, Program or Technology |
| | Type of funding | Public funding, internal funding, external funding (fundraising) |

| | | |
|-------------------|-------------------------------------|---|
| | Source of funding | Name of the organization that funded most of the project |
| | Cost | Known cost of the project |
| Timeline | Start and end dates | Known dates of when the project started and ended |
| | Current status of the project | Achieved, Abandoned, In progress, Unknown |
| Project structure | Nature of the actors involved | Public or private actor |
| | Type of partnership | Agency project, public project, private project, public private partnership |
| Technology | Type of On-Orbit Servicing activity | ADR, Orbit maintenance, Refueling, On-Orbit Assembly, On-Orbit manufacture (e.g. Easdown & Felicetti, 2020) |
| | Main technology | Description of the technology used or developed within the framework of the project |
| | Targeted orbit | Low Earth Orbit (LEO) or Geostationary Orbit (GEO) |

Tableau 25 Database structure

Before presenting the results of our material analysis, it seems necessary to clarify the definitions of On-Orbit Servicing and Active Debris Removal.

2. Definition of On-Orbit Servicing and Active Debris Removal

On-Orbit Servicing refers to the operations carried out on satellites in orbit, in order to inspect them, control them, repair them and manage their end of life. Several definitions of OOS are collected in Table 2.

| Definition | Reference |
|------------|-----------|
|------------|-----------|

| | |
|---|---|
| “on-orbit activities conducted by a space vehicle that performs an up-close inspection of, or results in intentional and beneficial changes to, another resident space object”. | J.P. Davis, J.P. Mayberry & J.P. Penn, 2010 |
| “the on-orbit alteration of a satellite or its orbit after its initial launch, using another spacecraft to conduct these alterations. Examples include relocating the satellite to a new orbit, refueling, repairing broken parts, replacing parts, deploying systems that failed to deploy after launch, and cleaning components.” | S. A. Carioscia, B. A. Corbin, B. Lal, 2018 |
| “OOS is defined as all types of in-space servicing of space assets through human supported or autonomous means.” | Knudtson & Peeters, 2002 |
| “On-orbit servicing refers to the performance of operations to re-pair, maintain, refuel, or upgrade a space asset while it remains in or near its operational orbit.” | Krolikowski & David 2013 |

Tableau 26 Definitions of On-Orbit Servicing

OOS is not a recent concept. It dates back to the early days of the conquest of outer space, when astronauts on mission started repairing space stations. OOS has remained omnipresent in the daily life of astronauts and refers today to a broader set of activities. In the literature, there are several ways to categorize what OOS covers, based on the types of services, functions, operations performed or capabilities, as shown in Table 3.

| Category | Description | Reference |
|--------------|---|--|
| Services | Motion (Re-orbiting; De-Orbiting; salvage), Manipulation (Maintenance; repair; retrofit; docked inspection), Observation (remote inspection). | Kreisel, 2003 ; Knudtson & Peeters, 2012 |
| Functions | Inspect, Relocate, Restore, Augment, Assemble. | Long, Richards, & Hastings, 2007 |
| Operations | ADR, Orbit maintenance, Hardware replacement/refueling, On-Orbit Assembly (OOA) and On-Orbit manufacture (OOM). | Easdown & Felicetti, 2020 |
| Capabilities | Non-contact support; Orbit modification and maintenance; Refueling and commodities | Davis, 2019 |

| | | |
|--|--|--|
| | replenishment; Upgrade; Repair; Assembly; Debris mitigation. | |
|--|--|--|

Tableau 27 On-Orbit Servicing categories

Active Debris Removal is often considered a subcategory of OOS and defined as "any system that removes or neutralizes space debris" (Alzer, Garza & May, 2019). It therefore designates all the technologies used to clean space debris and concerns several types of situations, in which the debris may or may not be cooperative or in which there is direct or indirect contact (Mark and Kamath, 2019; Ribeiro et al. 2017). The technologies considered are therefore numerous, especially as it is sometimes difficult to distinguish what is solely Active Debris Removal or more generally On-Orbit Servicing. In fact, as most of the technologies are still in the development stage, missions often encompass several objectives.

There are several studies identifying existing projects developed to tackle the problem of space debris. Some relate to On-Orbit Servicing in general (Davis, 2019; Li et al. 2019; Pelton et al. 2015). Others focus more specifically on Active Debris Removal (Colmenarejo et al., 2019; Zhao 2020). These articles address the issue of space debris from a technical angle by categorizing the technologies used (nets, harpoons, contactless or with contact, vehicle, etc.) according to their nature and their effectiveness. For example, Li et al. (2019) set out to identify all the methods used in general for OOS with a particular focus on "technical developments". Zhao et al. (2020) seek to evaluate the different methods considered for ADR, by proposing a model built around indicators. It seems to us that these projects are also of interest other than purely technical. Indeed, these initiatives adopt various forms and involve heterogeneous actors. Their financing and their organization vary greatly. In this article, we propose to study these initiatives from an organizational perspective. Pelton (2015) has already proposed a list of projects around Active Debris Removal, distinguishing between those which came under the initiative of the private sector and the public sector. We build on these results, and propose to complement them with a set of other more hybrid initiatives, mixing public and private actors in different ways. These clarifications made, we present the results of our study.

3. Results

Our database consists of 42 projects. Most of them originate from the United States (21). There is also a significant number of projects in Europe (4 at European level, 2 in Germany, 1 in Italy,

2 in France, 1 in Sweden, 2 in the UK). In the rest of the world, the projects are divided between Japan (4), China (2), Canada (2) and Israel (1) (see Figure 1).

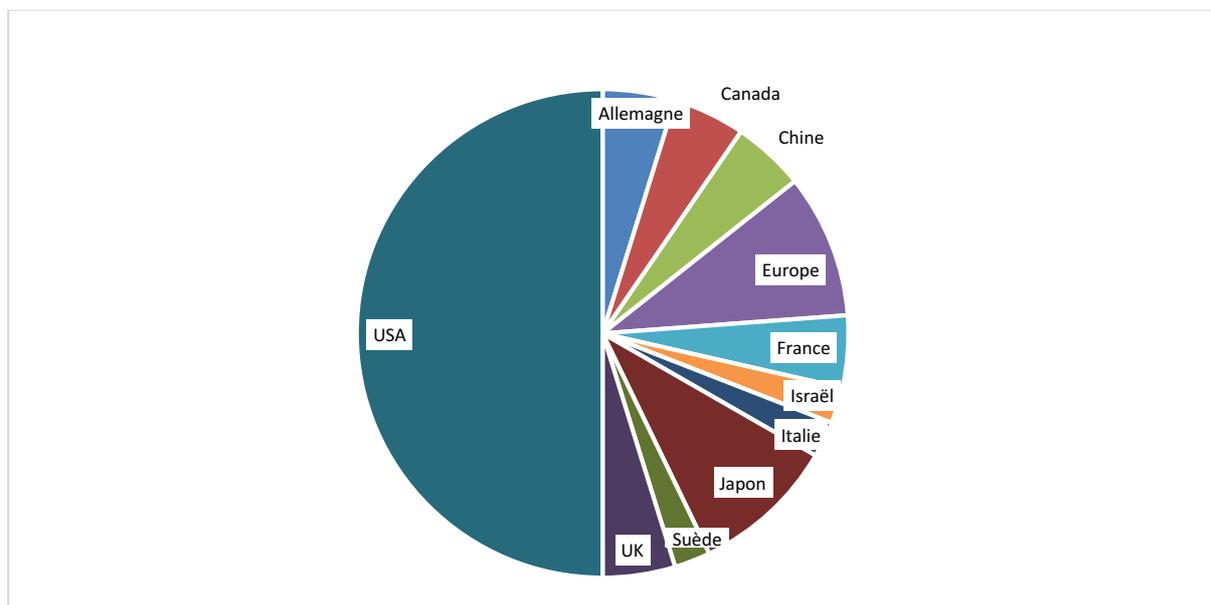


Figure 14 Geographical distribution of On Orbit Servicing projects

There has been a clear increase in the number of projects over the years as well as a sharp increase in private initiatives since 2010 (see Figure 2).

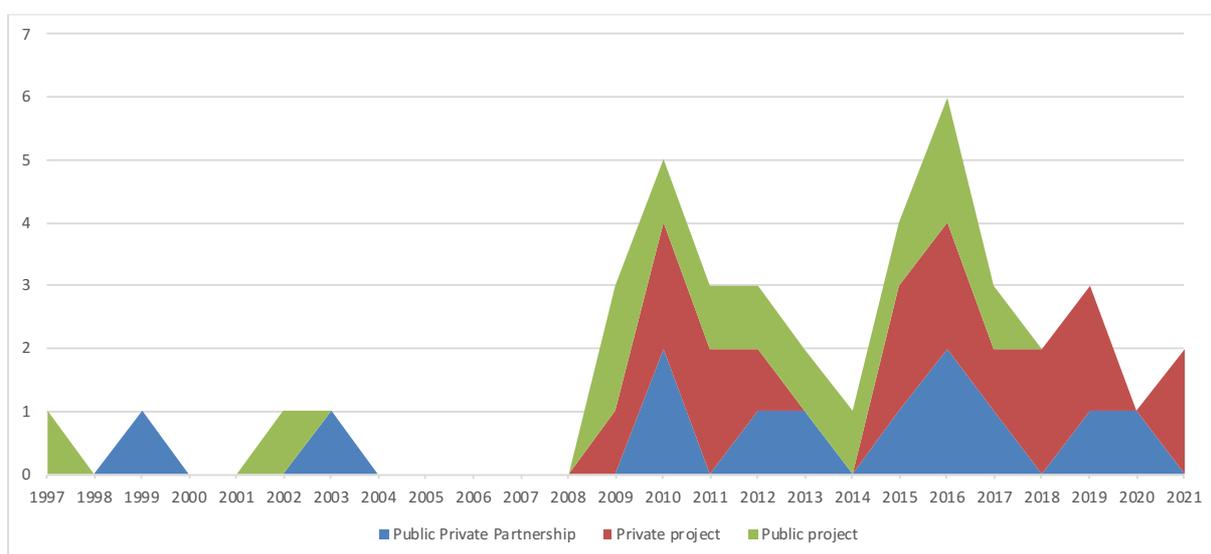


Figure 15 Evolution of the number of On-Orbit Servicing projects

We have distinguished three main categories of projects according to the nature of the actors who initiated them (private actors, public actors, and a mixture of the two). Different actors are gathered under the term of “public actors”. To simplify, we distinguish space agencies such as

ESA or NASA from other public institutions which can provide funding, such as the European Commission. Within each of these three main categories, we distinguished several types of projects, which could vary, for example, according to their structure (single actor or partnership), their activity (centered on the development of a technology or a service). We have divided the OOS projects and the ADR projects into two columns, highlighting, in red, the ADR projects that also have one or more other dimensions of On-Orbit Servicing.

3.1. Projects initiated by public actors

The first initiatives related to On-Orbit Servicing were led by space agencies and funded by national programs. For Active Debris Removal, the first project was ESA’s ROGER robot in 2002, which aimed to test the first prototypes of robotic arms and harpoons. There were also other programs of the same type in Japan, with SDMR developed in 2009 by JAXA or in the United States with NanoSail, a solar sail technology making it possible to deorbit debris and tested by NASA in 2011. Private actors have since been largely involved in the development of this type of mission. Nevertheless, some projects continued to be developed by public actors in some countries. This is for example the case in China with the Aolong-1 program launched in 2016 and which aimed to demonstrate its ability to de-orbit small debris by dropping it into the atmosphere. Public projects for the rest of On-Orbit servicing are both more numerous and more recent. We note that they were mainly developed by American institutions such as NASA (Robotics Refueling Mission with the Canadian Space Agency in 2009) or DARPA (the Phoenix program in 2011).

We also notice that space agencies are not the only public actors interested in Active Debris Removal or On-Orbit Servicing. Some universities are also involved in the deployment of this type of project. The University of Toronto, for example, spearheaded the CanX-7 initiative deployed in 2017, which aims to test the deorbitation of low-orbital nano-satellites (LEO).

| Categories | OOS Projects | ADR Projects |
|---|--|--|
| R&D projects developed internally by space agencies, with their own resources | ETS-VII – NASDA (1997) NASA Robotic Refueling Mission - NASA / CSA (2009) | ROGER - ESA (2002) SDMR – JAXA (2009) |

| | | |
|------------------------------------|---|---|
| | Phoenix – DARPA (2011) RAVEN – NASA (2015) Tianyuan 1 – NUDT (2016) | NanoSail-D2 – NASA (2010) Aolong-1 – Harbin Institute, CNSA (2016) |
| Projects developed by universities | Gecko Griper – NASA and Stanford (2012) | CanX-7 – University of Toronto (2017) |

Tableau 28 OOS and ADR projects initiated by public actors

3.2 Projects initiated by private actors

If space agencies were the first to take an interest in on-orbit or deorbiting techniques and to develop missions until the 2010s, private initiatives are today at least as numerous as those from public actors. Some firms relied on the development of new technologies; others sought to offer deorbitation services, in particular through the construction of a vehicle or space tug.

Recently, some firms have developed new technologies thanks to internal financing and fundraising. Since May 2019, Tethers Unlimited has been offering its customers an ADR solution called the Terminator Tape, a mechanism built to deploy a conductive tape causing deorbiting of the equipped satellite. MMA Designs, a company based in Colorado, is showcasing this same type of technology with dragNET, a net for deorbiting debris, since 2016. Other firms financed the internal development not of a technology, but of a service. In this category, ADR and OOS often overlap. The Space Drone Servicing Vehicule, developed by Effective Space Solutions since 2018, offers an in-orbit maintenance and repair service. On the ADR side, the American company Altius Space Machines, launched the Bulldog family of satellites in 2019. It provides capture, deorbitation and maintenance services in Low-Earth Orbits. Most of these in-orbit services' offers were developed after 2018.

| Categories | OOS Projects | ADR Projects |
|---|--|--|
| Technology developed and financed by a firm | Roll-Out DeOrbiting device (RODEO) – Composite | SpaDe – Raytheon BNN Technologies (2011) |

| | | |
|---|--|---|
| | technology Development Inc (2013) | GRASP – Tethers Unlimited (2016) Terminator Tape – Tethers Unlimited (2019) DragNET De-orbit Systems – MMA Design (2016) |
| Demonstration or mission developed and financed by a firm | Space Drone Servicing Vehicle – Effective Space Solutions (2018) Insure Sat – Chandah Space Technologies (2019) | Space Infrastructure Servicing - MDA and Intelsat (2010 – abandoned) O.CUBED Services - Airbus (2018) Bulldog – Altius Space Machines (2019) ELSA d – Astroscale and SSTL (2020) Vigoride – Momentus (2021) |

Tableau 29 OOS and ADR projects initiated by private actors

3.3 Projects involving public and private actors

While there are initiatives led respectively by private actors or by public actors, most of the projects identified are developed through partnerships between public and private actors. We distinguished several configurations based on the roles played by public and private actors. Space agencies can indeed be sponsors or financial support. Firms can be performers of a contract with the space agency or position themselves as creators of a new market. Finally, a distinction was made between projects carried out in partnership with universities.

The space agency often plays the role of sponsor: it launches a call for proposal and chooses a firm or a consortium to carry out the project, build a satellite, a vehicle, or develop a new technology. This classic form of partnerships has been used several times in Europe for Active Debris Removal, as in the e.Deorbit program, launched in 2012 and funded by ESA with a consortium of manufacturers including SSTL, Airbus, Kayser-Threde and Thales Alenia Space. This form of contract between public and private actors also seems common for On-Orbit servicing, particularly in the United States. In 2017, DARPA also invested \$ 64.6 million in a project in partnership with Space Logistic to develop RSGS, a vehicle capable of extending the life of satellites in geostationary orbit.

In another configuration, the space agency chooses a firm - more often a startup - to entrust it with the responsibility of carrying out a demonstration mission, with the aim of creating market dynamics. In 2009, ESA launched as part of the Clean Space Initiative a call for proposal for an Active Debris Removal solution, won by the Swiss start-up Clearspace surrounded by a consortium of firms. The resulting Clearspace-1 demonstration project is therefore led by a startup. It is partly funded by ESA which has allocated 70 million euros for the first three years, supplemented by funds raised by the startup. Unlike a classic partnership, described above, financing is developed gradually during key performance gates. The space agency seeks to spur the creation of a new market around space debris removal.

In some cases, the space agency is no longer the sponsor but plays a financial support role. In the United States, the SOUL project developed by Busek in 2016 and mixing ADR and OOS services was funded by a NASA grant. This model also exists in Europe. The Decommissioning Device D3 technology of the Italian company D-orbit notably was funded by the European Commission, as part of the Horizon 2020 project. In this configuration, governments supported the development of technologies, which continue to belong to the firms that developed them. Unlike CRD2 or Clearspace, space agencies are not involved in the development of these technologies, which is entirely entrusted to the company and the consortium of industrialists it has surrounded itself with.

Finally, a final form of partnership between public and private actors involves actors from the academic world. Indeed, some universities have developed projects in collaboration with firms. This is the case, for example, with the Remove Debris research program, orchestrated by the Space Surrey Center, carried out by a consortium of firms and funded by the European Commission from 2013 to 2019.

| Categories | Description | OOS Projects | ADR Projects |
|---|--|--|---|
| The space agency as a sponsor | Agency as operator of the market: an agency launches a call for proposals and signs a contract with one or more manufacturers | Orbital Express - DARPA (1999) Dragonfly - NASA (2015) OSAM-1 - NASA (2016) RSGS SIS Vehicle - DARPA (2017) | DEOS – DLR (2010) e.Deorbit – ESA (2014) |
| | Agency as creator of new markets: an agency designates a firm or a startup to carry out an entire mission and become a central actor of a new market | iBoss – Iboss consortium (2010) | CRD2 – JAXA and Astroscale (2019) Clearspace 1 – Clearspace and ESA (2013) |
| The space agency or the government as financial support | An agency or a government financially supports a firm or a startup for the development of a technology | MEV – Northrop Grumman (2011) Archinaut – Made in Space (2016) | Electro Dynamic Debris Eliminator – Star-Tech Inc. (2012) SOUL – Busek co.inc (2016) |

| | | | |
|---|--|--|--|
| | | | Decommissioning Device – D-Orbit (2020) |
| | One or more agencies financially support one or more firms for the development of a demonstration or a mission | PERIOD - Airbus Defense and Space (2021) | SMART-OLEV – Orbital Satellite Ltd (2003) ANDROID – GMV Innovative Solutions (2017) |
| Research projects involving private actors and universities | | AEOLDOS – AAC Clyde Space and University of Glasgow (2009) | Remove debris – Surrey Space Center (2013) |

Tableau 30 OOS and ADR projects involving private and public actors

| | |
|------------------|--|
| Public | Agency-driven University partnering |
| Public - private | Agency as operator of a market Agency as creator of new markets |
| Private - public | Technology oriented Mission oriented |
| Private | Technology oriented Mission oriented |

Tableau 31 Multiple forms of OOS and ADR projects

4. Discussion

The results of our study allow us to reflect about the possibility of the emergence of an Active Debris Removal market. We can first hypothesize that it constitutes a segment of that of On-Orbit Servicing, as an extension of it. However, the particularities of this activity prompt us to explore, in a second step, the specific dynamics to Active Debris Removal projects.

Hypothesis 1: Active Debris Removal as a segment of On-Orbit Servicing

The literature presents Active Debris Removal as a sub-segment of On-Orbit Servicing (Carioscia, Corbin & Lal, 2018). On-Orbit Servicing has long been considered as an emerging market with a ‘chicken and egg’ problem (Mueller & Kreisel, 2006, p. 2; Knudtson & Peeters, 2012, p. 5/8). Today, this sector seems to have succeeded in going beyond this stage and is considered as a market in its own right, still young, admittedly, but real: "The servicing industry has reached a tipping point at which a commercially viable OOS capability is becoming a reality. Advancement of technology, demonstration missions that reduce risk, and the prospect of customers throughout industry are driving the development of an OOS commercial market" (Davis et al., 2019, p. 4). It could therefore be considered that the Active Debris Removal market could rely on the more advanced On-Orbit Servicing market.

Several arguments support this thesis. First, the technologies required for On-Orbit Servicing and Active Debris Removal are in part similar. Whether it is to deorbit or repair debris, it is essential to approach the object in orbit and secure it properly (what is called Rendezvous and Proximity operations). Our results also show that many projects aim to simultaneously develop several segments of On-Orbit Servicing, in particular space tug, these space vehicles mainly developed by private players, which have multiplied in recent years. They are designed like Swiss Army knives and allow to carry out several activities at the same time. For example, the US firm Momentus Space is currently developing the Vigoride, a vehicle capable of operating in low orbit on all segments of On-Orbit Servicing. Likewise, the Airbus O-Cubed project, presented in 2018, aimed to develop a space vehicle that could operate in both low and geostationary orbits, on repair, maintenance and deorbitation activities.

However, our results highlight certain specificities of Active Debris Removal, which lead to discuss the hypothesis of the latter as a segment of OOS. We can indeed assume that the ADR sector, *a priori* riskier and therefore less profitable, should be less attractive to private actors. However, our results show that ADR still arouses the interest of firms which develop technologies (such as Terminator Tape from Tethers Unlimited or Dragnet from MMA Designs) using their own resources, without external funding from public actors (see Table 5, column 2). We also observe forms of partnerships between different private actors, such as the ELSA-D demonstration project developed by the Japanese company Astroscale and which was carried out in partnership with Space Surrey Technology Limited, a company derived from the Space Surrey Center and specialized in the marketing of microsatellites (SSTL was responsible

for constructing the satellite used as the target for the demonstration of the Astroscale deorbitation service). In addition, OOS projects seem to give rise to fairly classic forms of public-private partnerships, in which an agency orders the development of a project (such as the Dragonfly or OSAM-1 projects of NASA or RSGS SIS Vehicle of the DARPA) or owns it (NASA's RAVEN). In ADR projects, the forms of this cooperation also seem more innovative. Some agencies delegate the management of the entire project to a startup in the hope that a market will be formed after the demonstration (CRD2 from JAXA or Clearspace-1 from ESA). This model is inspired by the NASA innovation policy which delegates certain forms of R&D to private actors (Mazzucato & Robinson, 2018), but retains a strong involvement of space agencies in the development of the mission.

On-Orbit Servicing therefore shares many features with Active Debris Removal's business. However, the way ADR projects are conducted differs from the strategies used for On-Orbit Servicing in general. Although they evolve together and influence each other, these two segments do not seem to follow exactly the same dynamics.

Hypothesis 2: the specific dynamic of Active Debris Removal projects

From this observation, it seemed necessary to study in more detail the multiplicity of forms of Active Debris Removal projects in order to understand their specific dynamics. We find all the configurations: public, private, but also public / private and within this public / private, varied degrees of involvement of the different actors. Thus, an agency can only be a sponsor or a financial support, a firm can only develop a technology or position itself as a market creator. We successively explore three types of dynamics: temporal, geographic and inter-actor.

We first try to observe the dynamics of ADR projects from a time perspective. In general, this sector follows the overall development of the space sector, with the increasing involvement of private actors. This trend is visible, for example, within ESA. The ROGER project, led by the agency and financed by it in 2002, gave way to the e.Deorbit program, also financed by public funds but with a call for proposals from a service provider and the integration of actors from the industrial sector, and led to the Clearspace-1 program, which delegated all development to the startup Clearspace and whose objective was to create a new market. In addition, the number of projects fully developed by private actors represents half of ADR projects (12), the rest being divided between public projects (7) and public and private partnerships (5). Nevertheless, it would be hasty to conclude that a simple evolution of a model of public development by

agencies to a prevalence of independent private projects. In fact, we have seen the development on a global scale over the past five years both private initiatives (such as Elsa-D in 2021 or Bulldog by Altius Space Machine in 2019) and public-private partnerships (such as the program CRD2 in 2019, or Decommissioning Device - D-Orbit in 2020), public initiatives (Tianyuan 1 in China in 2016) and university projects (CanX-7 in 2017).

We can also try to study the distribution of ADR projects according to the geographic dimension. The United States remains the country from which the majority of ADR projects originate (10 projects out of the 24 ADR projects listed here). In the United States, it is mainly private American actors who invest in Active Debris Removal projects, independently or financially supported by public funds such as NASA scholarships. In Europe and Japan, on the contrary, space agencies are more involved in the support and development of services and the creation of an Active Debris Removal market, with many public-private partnerships in which they mainly play the role of sponsors, whether for technologies or services. Other space powers, such as China, conduct this kind of research related to the defense sector at the institutional level only.

Finally, links can be made between different Active Debris Removal projects. Indeed, some players are positioning themselves on several projects simultaneously, such as Astroscale which is developing its own Elsa-d demonstration with private funds in order to develop a new commercial service. At the same time, it was selected by JAXA to spearhead the CRD2 project and demonstrate another deorbitation. Likewise, some firms such as Airbus Defence and Space play a central role within certain industrial consortia (for example in the Remove Debris research project, or for the Clearspace-1 demonstration mission), while also launching internal vehicle development projects intended to offer in-orbit services (O-Cubed Services). On the other hand, some space agencies, notably ESA, seem particularly active in creating an ADR market. Certain actors, public or private, seem to play a predominant role in the construction of the conditions for the emergence of the market.

We can therefore observe certain major trends in the development of ADR projects: evolution towards an activity increasingly developed by private actors, differences in strategies between geographic regions and in the importance of certain actors.

Conclusion

In this article, we tried to understand how an Active Debris Removal market could tackle the ‘chicken and egg’ problem. We set up a database gathering On Orbit Servicing and Active Debris Removal projects developed over the past 25 years. Our analysis led to three main results.

First, our study highlights the different dynamics of OOS and ADR. We know that some players choose to develop projects covering OOS and ADR at the same time, such as space tugs. But despite the technological proximity between the two segments, ADR displays original features. Therefore, ADR cannot be expected to develop as a simple segment of OOS benefiting from the latter's momentum. If ADR is to thrive, it has to deal with the chicken and egg problem itself.

Thus, we focused on the ADR market, which seems to be in an intermediate phase and still too underdeveloped to identify robust trends. Its evolution depends heavily on international regulations and geopolitical issues. We show that solving its ‘chicken and egg’ problem will not be a linear process. There is no clear evolution starting with pure public initiatives, going through a phase of public-private partnerships and ending with solely private actors in a pure market. On the contrary, our second result, we find public initiatives, private initiatives, more or less pure, as well as multiple forms of partnerships which tend to coexist. Actors simultaneously explore different alternatives.

Finally, we believe that this diversity plays a key role in overcoming the ‘chicken and egg’ issue. Public intervention will be central in fashioning an ADR market. Therefore, public actors should not seek to select a unique form of action but should on the contrary continue to favor flexible and diversified forms of action. They should go on trying to create new markets, but also keep supporting financially private actors in developing new technologies or missions, as well as developing their own R&D projects.

References

- Alver, J., Garza, A., & May, C. (2019), “An Analysis of the Potential Misuse of Active Debris Removal, On-Orbit Servicing, and Rendezvous & Proximity Operations Technologies”, The George Washington University, Washington, DC.
- Carioscia, S. A., Corbin, B. A., & Lal, B. (2018). *Roundtable Proceedings: Ways Forward for On-Orbit Servicing, Assembly, and Manufacturing (OSAM) of Spacecraft*, Institute for Defense Analyses, <http://www.jstor.org/stable/resrep22845>
- Colmenarejo, P. et al. (2019), On ground validation of debris removal technologies. *Acta Astronautica*, Vol. 158, pp. 206-219. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2018.01.026>
- Davis, J. P., Mayberry, J. P., & Penn, J. P. (2019), “On-orbit servicing: Inspection repair refuel upgrade and assembly of satellites in space”. *Report, The Aerospace Corporation*.
- Delacrétaç, N. , Lanz B. & van Dijk J. (2020), “The chicken or the egg: Technology adoption and network infrastructure in the market for electric vehicles”, University of Neuchatel Institute of Economic Research, IRENE Working paper 20-08.
- Dumez, H (2016), *Comprehensive Research. A methodological and epistemological introduction to qualitative research*, Copenhagen Business School Press, Copenhagen.
- Easdown, W., & Felicetti, L. (2020), “A mission architecture and systems level design of navigation, robotics and grappling hardware for an on-orbit servicing spacecraft”, UKSEDS Student Space Symposium. <http://dSPACE.lib.cranfield.ac.uk/handle/1826/16942>
- Fligstein, N. (2018), *The architecture of Markets*, Princeton University Press, Princeton.
- Gnann T., Plötz P. & Wietschel M. (2015), “How to address the chicken-egg-problem of electric vehicles? Introducing an interaction market diffusion model for EVs and charging infrastructure”, *Proceedings of the 2015 ECEEE summer study*, Toulon, France, pp. 873-884.
- Graziano, M., Tomassini, A., & Naudet, J. (2017), “SBSS-DM and ANDROID: two small missions for Space-Based Space Surveillance and Active Debris Removal Demonstrations”, *7th European conference for aeronautics and space sciences (EUCASS)* DOI: 10.13009/EUCASS2017-631
- Helfat, C. E., & Lieberman, M. B. (2002), “The birth of capabilities: market entry and the importance of pre-history”, *Industrial and corporate change*, Vol. 11/4, pp. 725-760. <https://doi.org/10.1093/icc/11.4.725>
- Jacobides, M. G (2016), “Industry architecture”, in Augier M. and Teece D. J. (eds) *The Palgrave Encyclopedia of Strategic Management*, Palgrave Macmillan, Basingstoke, pp. 1-5. <https://doi.org/10.1057/978-1-137-00772-8>
- Knudtson, P., & Peeters, W. (2002), *The development of a technology prize to promote on-orbit servicing infrastructure*. IAC-10-D3.3.10
- Kreisel, J. (2003), “On-orbit servicing (OOS): Issues & commercial implications”. In *54th International Astronautical Congress of the International Astronautical Federation, the International Academy of Astronautics, and the International Institute of Space Law*. <https://doi.org/10.2514/6.IAC-03-IAA.3.1.05>
- Krolikowski, A., & David, E. (2013), “Commercial on-orbit satellite servicing: national and international policy considerations raised by industry proposals.” *New Space*, Vol. 1/1, pp. 29-41. <https://doi.org/10.1089/space.2013.0002>
- Li, W. J. et al., (2019), “On-orbit service (OOS) of spacecraft: A review of engineering developments”, *Progress in Aerospace Sciences*, Vol. 108, pp. 32-120. <https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2019.01.004>

- Long, A. M., Richards, M. G., & Hastings, D. E. (2007), “On-orbit servicing: a new value proposition for satellite design and operation”. *Journal of Spacecraft and Rockets*, Vol. 44/4, pp. 964-976. <https://doi.org/10.2514/1.27117>
- Mark, C. P., & Kamath, S. (2019), “Review of active space debris removal methods”, *Space Policy*, Vol. 47, pp. 194-206. <https://doi.org/10.1016/j.spacepol.2018.12.005>
- Martin, A. S. (2020), “Legal Approach on the Dual-Use Nature of On-Orbit Servicing Programs”, *In On-Orbit Servicing: Next Generation of Space Activities*, Springer, Cham, pp. 1-11. https://doi.org/10.1007/978-3-030-51559-1_1
- Mazzucato, M., & Robinson, D. K. (2018), “Co-creating and directing Innovation Ecosystems? NASA’s changing approach to public-private partnerships in low-earth orbit”, *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 136, pp. 166–177. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.03.034>
- Mueller, R., & Kreisel, J. (2006), “On-Orbit Servicing (OOS) Concept Trades Based on the S@tMax System”, in *Proceedings of the 9th ESA workshop on Advanced Space Technologies for Robotics and Automation, ASTRA ESTEC*, The Netherlands.
- Navis, C., & Glynn, M.A. (2010), “How New Market Categories Emerge: Temporal Dynamics of Legitimacy, Identity, and Entrepreneurship in Satellite Radio, 1990-2005”, *Administrative Science Quarterly*, Vol. 55, n° 3, pp. 439-471. <https://doi.org/10.2189/asqu.2010.55.3.439>
- Ozcan, P. & Santos F. M. (2015), “The market that never was: Turf wars and failed alliances in mobile payments”, *Strategic Management Journal*, vol. 36, n° 10, pp. 1486-1512. <https://doi.org/10.1002/smj.2292>
- Pasco, X. (2017), *Le nouvel âge spatial. De la Guerre froide au New Space*. Paris, CNRS.
- Pelton, J. N. (2015), *New solutions for the space debris problem*, Springer International Publishing, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-17151-7>
- Ribeiro, J. R. et al., (2018), “Evolution of policies and technologies for space debris mitigation based on bibliometric and patent analyses”, *Space Policy*, Vol. 44, pp. 40-56. <https://doi.org/10.1016/j.spacepol.2018.03.005>
- Robinson, D. K., & Mazzucato, M. (2019), “The evolution of mission-oriented policies: Exploring changing market creating policies in the US and European space sector”, *Research Policy*, Vol. 48/4, pp. 936-948. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2018.10.005>
- Schervan, T. A. et al., (2017), “iBOSS Modular Plug & Play-Standardized Building Block Solutions for Future Space Systems Enhancing Capabilities and Flexibility, Design, Architecture and Operations”. *In 68th International Astronautical Congress (IAC)*. <https://iafastro.directory/iac/proceedings/IAC-17/>
- Tziouras, J. (2020), “On-Orbit Servicing: Security and Legal Aspects”, *In On-Orbit Servicing: Next Generation of Space Activities*, pp. 55-68), Springer International Publishing, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-51559-1_4
- Viola, F. (2021), “Electric Vehicles and Psychology”, *Sustainability*, Vol. 13, n°2. <https://doi.org/10.3390/su13020719>
- Williamson, O. (1975), *Markets and Hierarchies*, Free Press, New York.
- Yin, R. K. (2009), *Case study research: Design and methods* (Vol. 5). Thousand Oaks, CA. SAGE.
- Zhao, P., Liu, J., & Wu, C. (2020), “Survey on research and development of on-orbit active debris removal methods”, *Science China Technological Sciences*, pp. 1-23. <https://doi.org/10.1007/s11431-020-1661-7>

Zink, R., Valdes J., & Wuth J. (2020), “Prioritizing the Chicken or Egg? Electric Vehicle Purchase and Charging Infrastructure Subsidies in Germany”, *Politics and Governance*, vol. 8, n° 3, pp. 185–198. <http://dx.doi.org/10.17645/pag.v8i3.3025>

Conclusion générale

L'objectif de cette thèse était d'identifier les modes de gestion mobilisés par les acteurs pour faire face à un problème complexe d'échelle planétaire qui, étant donné sa portée, son incertitude, sa complexité et l'hétérogénéité de ses acteurs, soulève un problème d'action collective. Afin de répondre à cette question de recherche, nous avons choisi d'étudier le cas des débris spatiaux, dont la multiplication en orbite présente une menace pour l'ensemble des activités spatiales. Le cas a été abordé dans une démarche compréhensive, à l'aide d'un design de recherche flexible, articulant plusieurs niveaux d'analyse et plusieurs approches méthodologiques illustrés dans les différents articles rédigés au cours de la thèse.

La réflexion s'est organisée en deux temps. Dans un premier temps, une analyse de trois grandes solutions aux problèmes globaux et à la surexploitation des ressources - l'étatisation, la privatisation, la gestion par les communs - a été réalisée. Le cas des débris spatiaux a été successivement confronté à chacun de ces modes de gestion, dans une démarche d'exploration et d'inspection, afin de faire émerger les particularités du cas et les dispositifs mis en place par les acteurs. Au cours de cette enquête, nous avons montré qu'aucune de ces dimensions ne parvenait à répondre complètement à la complexité du problème. En revanche, elles permettent de révéler la diversité des types de règles et des lieux où elles étaient produites ; les différentes stratégies d'acteurs dans la création d'un nouveau marché ; l'utilité de la notion de communs pour comprendre les dynamiques de l'action collective à l'œuvre et ses limites pour décrire la manière dont le problème est géré. L'analyse de ces axes a permis de révéler les différentes facettes du problème des débris spatiaux et d'en souligner la complexité.

Dans un second temps, et à partir de ces résultats, la thèse identifie un nouveau mode de gestion, appelé le *commoning* global, inspiré des concepts récents de *commoning* et de polycentrisme issus de la littérature sur la théorie des communs. Le *commoning* global repose sur une communauté d'individus qui partagent un affect vis-à-vis du problème, contribuent à l'émergence et à la coordination d'un système polycentrique de règles, produisent la connaissance nécessaire à la compréhension du problème, à sa régulation et à la création d'un nouveau marché, et sont également chargés de sa diffusion.

À travers l'identification de ce nouveau mode de gestion, nous avons cherché à donner à voir le processus social d'organisation qui se manifeste au fur et à mesure de la découverte et de la construction progressive d'un problème complexe d'échelle planétaire. Nos résultats soulignent le rôle central que jouent les membres de cette communauté épistémologique-affective, qui font le lien

Conclusion générale

entre le processus de régulation, la création de marché, la production de connaissances orientées vers le comportement des acteurs. Ainsi, même dans un problème dont la gestion repose sur des acteurs aussi globaux que des États, des firmes mondiales ou des organisations internationales, l'étude des dynamiques interindividuelles et la prise en compte des émotions semblent centrales dans la compréhension des pratiques et des mécanismes de gestion.

Étant donné la rapidité à laquelle peut évoluer la situation en orbite, la publication récente de nouvelles lois et standards pour réguler les comportements des utilisateurs de l'espace, l'essor des marchés de servicing, l'évolution de la situation géopolitique et les nouveaux défis de l'exploration spatiale, il semble difficile de prédire de quelle manière peut évoluer le phénomène des débris spatiaux dans les années à venir. Le problème tendant à s'aggraver, les mécanismes de gestion émergents que nous avons décrits au cours de cette thèse seront certainement amenés à se renforcer et à évoluer. Reste à savoir de quelle manière, et quel impact cette évolution pourrait avoir, notamment sur le fonctionnement de la communauté d'acteurs et sur son rôle dans la structuration et la gestion du problème.

Liste des figures

| | |
|---|-----|
| Figure 1 Approche chronologique des « voir comme » dans le problème des débris spatiaux | 48 |
| Figure 2 Évolution de la régulation sur les débris spatiaux (1993-2007) | 53 |
| Figure 3 Répartition du nombre de débris avant et après la destruction de Feng-Yun1C | 55 |
| Figure 4 Évolution du nombre d'objets en orbite | 56 |
| Figure 5 Structure des forums de régulation et liens entre les règles | 99 |
| Figure 6 Classification des biens communs d'après Ostrom (1990) | 141 |
| Figure 7 Analyse comparative entre « common good » et « common goods » | 148 |
| Figure 8 Projection du nombre de collisions en orbite selon le modèle de Kessler | 188 |
| Figure 9 Modèle LEGEND avec scénarios d'ADR | 196 |
| Figure 10 Liste des débris les plus dangereux | 199 |
| Figure 11 Extrait du film Gravity | 204 |
| Figure 12 Représentation graphique des débris spatiaux | 205 |
| Figure 13 Modèle de gestion du système polycentrique dans un problème global | 215 |
| Figure 14 Geographical distribution of On Orbit Servicing projects | 285 |
| Figure 15 Evolution of the number of On-Orbit Servicing projects | 285 |

Liste des tableaux

| | |
|--|-----|
| Tableau 1 Architecture de la thèse | 18 |
| Tableau 2 Articles de la thèse et leurs méthodologies respectives | 26 |
| Tableau 3 Répartition des catégories d'acteurs par pays..... | 31 |
| Tableau 4 Répartition des catégories d'acteurs par fonction | 32 |
| Tableau 5 Détail des trois séries d'entretiens | 33 |
| Tableau 6 Observation directe et participante au cours de la recherche | 36 |
| Tableau 7 Détail des sources de données secondaires..... | 38 |
| Tableau 8 Avantages et inconvénients des forums de régulation | 92 |
| Tableau 9 Typologie de Ahrne et al. (2015) appliquée au cas des débris spatiaux | 116 |
| Tableau 10 Positionnement stratégique des différents acteurs | 117 |
| Tableau 11 Proposition d'une typologie des organisateurs du marché des débris spatiaux ... | 118 |
| Tableau 12 Présentation des catégories du potentiel marché des débris spatiaux | 128 |
| Tableau 13 Définitions du commun comme processus social | 147 |
| Tableau 14 Envisager l'espace extra-atmosphérique comme un commun global, | 152 |
| Tableau 15 Différences entre commun à l'échelle locale et à l'échelle globale | 155 |
| Tableau 16 Envisager la gestion en commun des orbites basses | 158 |
| Tableau 17 Application des trois approches des communs au cas de l'espace extra-atmosphérique et des débris spatiaux | 159 |
| Tableau 18 Définitions du commoning | 162 |
| Tableau 19 Principales conférences et workshops sur les débris spatiaux | 167 |
| Tableau 20 Évolution de la participation à la European Space Debris Conference..... | 183 |
| Tableau 21 Proposition de typologie de la connaissance | 185 |
| Tableau 22 Synthèse des principaux résultats de la thèse | 212 |
| Tableau 23 Synthèse des principales contributions théoriques de la thèse | 220 |
| Tableau 24 Journal de suivi des articles | 228 |
| Tableau 25 Database structure | 282 |
| Tableau 26 Definitions of On-Orbit Servicing | 283 |
| Tableau 27 On-Orbit Servicing categories | 284 |
| Tableau 28 OOS and ADR projects initiated by public actors | 287 |
| Tableau 29 OOS and ADR projects initiated by private actors | 288 |
| Tableau 30 OOS and ADR projects involving private and public actors..... | 291 |
| Tableau 31 Multiple forms of OOS and ADR projects..... | 291 |

Annexes

Annexe 1 - Chronologie de la description / narration du cas des débris spatiaux

| | Voir Comme 1 Objet d'étude | Voir Comme 2 Objet de régulation | Voir Comme 3 Problème global | Voir comme 4 Opportunité |
|-------------|--|---|---------------------------------|-----------------------------|
| 1978 | Article de Kessler et Cour-Palais | | | |
| 1979 | NASA Orbital debris program | | | |
| 1980 | | | | |
| 1981 | AIAA - premier "position paper" sur les débris spatiaux | | | |
| 1982 | «Orbital Debris Workshop» (NASA) | | | |
| 1983 | | | | |
| 1984 | JSC 20001 "Orbital Debris Environment for Space Station," publié par la nasa | | | |
| 1985 | "Workshop on Re-entry of Space Debris" (ESA) | | | |
| 1986 | | | | |
| 1987 | McKnight, Johnson, Brown, premier ouvrage sur les débris US Air Force premier rapport militaire Étude SAFE de Walter Flury à l'ESA | | | |
| 1988 - 1992 | | | | |
| | Création de l'IADC | | | |
| 1993 | Lancement de la European Space Debris Conference (ESA) | | | |
| 1994 | | | | |
| 1995 | | Premier standard sur les débris spatiaux (NASA) | | |
| 1996 | | | | |
| 1997 | European Space Debris Conference (2nde édition) | Standard la JAXA | | |
| 1998 | | Standard du CNES European Space Debris Mitigation Standard (EDMS) | | |
| 1999 | | | | |
| 2000 | | | | |
| 2001 | European Space Debris Conference (3e édition) | | | |

| | | | | |
|---|--|---|--|--|
| 2002 | | IADC Space Debris Mitigation Guidelines | | |
| 2003 | | | | |
| 2004 | | European Code of Conduct for space debris mitigation issue (ESA) | | |
| 2005 | European Space Debris Conference (4e edition) | | | |
| 2006 | | | | |
| 2007 | | Guidelines for the Long-Term Sustainability of Outer Space (COPUOS) | Destruction volontaire par tir de missile de Feng-Yun 1C (Chine) | |
| 2008 | | Loi sur les Opérations Spatiales, Italie | | |
| Collision entre Iridium 33 et Cosmos 2251 | | | | |
| 2009 | European Space Debris Conference (5e edition) | | | |
| 2010 | | | COPUOS, Création d'un groupe de travail sur la viabilité à long terme des activités extra-atmosphériques | |
| 2011 | RAND report Catcher's mitt study | Révision des guidelines IADC Standard ISO 24113 | Standard ISO 24113 | Création de D.orbit (Italie) |
| 2012 | | | | |
| 2013 | Rapport UN Group of Governmental Experts European Space Debris Conference (6e edition) | | | Création d'Astroscale (Japon) |
| 2014 | | | European Space Surveillance and Tracking (EUSST) | |
| Lancement des méga-constellations Starlink de SpaceX et OneWeb | | | | |
| 2015 | | | | |
| 2016 | | | | Création de Leolabs Création de ShareMySpace |
| 2017 | European Space Debris Conference (7e edition) | IADC Statement on Large Constellations of Satellites in LEO | | |
| 2018 | ESA – Lancement de RemoveDebris | | Fondation de la Secure World Fondation | |
| 2019 | IOC Conférence de la Nasa sur les débris spatiaux. | Ensemble de standards de la Space Safety coalition Mise à jour du standard ISO | Création de la Space Debris Coalition Un débris heurte un bras robotique de l'ISS | Création de CleanSpace (ESA / Clearspace) |
| 2020 | Policy Paper de l'OECD Space Forum | | World Economic Forum, lancement du Space Sustainability Rating Project | Lancement du projet CRD2 (JAXA) Démonstration du MEV-1 (Northrop Grumman) |
| 2021 | European Space Debris Conference (8e edition) | | | |

Annexe 2 - Chronologie de la production de règles sur les débris spatiaux dans les cinq principaux centres de régulation

| | États | IADC | COPUOS | ISO | Coalitions |
|------|---|---|---|---|------------|
| 1993 | | <i>Création de l'IADC</i> | | | |
| 1994 | | | | | |
| 1995 | NASA Safety Standard 1740.14 | | | | |
| 1996 | NASA STD-18, Space Debris Mitigation Standard | | | | |
| 1997 | NASDA-STD-18 Standard (Japon) | | | | |
| 1998 | | | | | |
| 1999 | CNES standard RNC-Q-40-512 | | | | |
| 2000 | | | | | |
| 2001 | | | | | |
| 2002 | European Space Debris Mitigation Standard | Space Debris Mitigation Guidelines | <i>Présentation des guidelines de l'IADC au COPUOS</i> | | |
| 2003 | | | | <i>Formation d'un groupe de travail sur les débris spatiaux</i> | |
| 2004 | European Code of Conduct | | | | |
| 2005 | | | | | |
| 2006 | | | | | |
| 2007 | | Révision Guidelines | UN Guidelines | | |
| 2008 | Loi française sur les Opérations Spatiales | | | | |
| 2009 | Russie Standard | | | | |
| 2010 | | | <i>Création d'un groupe de travail sur la viabilité à long terme des activités extra-atmosphériques</i> | | |
| 2011 | | Révision des guidelines | | ISO-24-113 | |
| 2012 | Product Assurance and Safety Requirements for DLR Space | | | | |

| | Projects (Allemagne) | | | | |
|-----------|---|--|---|---------------------|---|
| 2013-2018 | | | | | |
| 2019 | US Space policy Directive – 3, National Space Traffic Management Policy and | | Guidelines for the Long-term Sustainability of Outer Space Activities | Révision ISO-24-113 | Création de la Space Safety Coalition SSC Best practices for the Sustainability of Space Operations SIA Principles of Space Safety for Commercial Satellite Industry |
| 2020 | | | | | |
| 2021 | | | | | CONFERS Guiding Principles for Commercial Rendezvous and Proximity Operations (RPO) and On-Orbit Servicing (OOS) |
| 2022 | | | | | |

Annexe 3 – Organisation des sessions de la European Space Debris Conference

| Conférence 1993 | Conférence 1997 | Conférence 2001 | Conférence 2005 | Conférence 2009 | Conférence 2013 | Conférence 2017 | Conférence 2021 |
|---|---|-----------------------------------|---|-----------------------------------|--|---|---|
| National and International Activities | National and International Activities | Ground-based Measurements 1 | Ground-based measurements (radar) | Space Surveillance I | Radar & optical Measurements | Radar, Optical, and in-situ Measurements - ground based experiments | Active and passive optical measurements |
| Measurements of Space Debris and Meteoroids | Measurements of Space Debris and Meteoroids | Ground-based Measurements 2 | Ground-based measurements (optical) | Space Surveillance II | In-Situ Measurements, Meteoroids & Data Processing | Hypervelocity Impacts & Shielding - Application | Debris mitigation techniques and processes |
| Dust and Debris Experiments. Analysis of Material Returned from Space | Dust and Debris Experiments. Analysis of Material Returned from Space | Hypervelocity Impacts | Space-based and in-situ measurements | Modelling | Space Surveillance & Catalogs | Radar, Optical, and in-situ Measurements - Space- Based | Active and passive optical measurements |
| Modelling of Space Debris and Meteoroids | Modelling of Space Debris and Meteoroids | Modelling | Debris & meteoroid environment modelling | Measurements I | Debris & Meteoroid Environment Modelling | Hypervelocity Impacts & Shielding: Simulations and Tests | Debris mitigation techniques and processes |
| Hypervelocity Impacts and Accelerators | Hypervelocity Impacts and Fragmentation | Protection | Determination & prediction of debris orbits | Measurements II | On-Orbit Risk Assessments | Radar, Optical, and in-situ Measurements - Attitude | Radar measurements, and attitude measurements |
| Shield Design and Protection | Shield Design, Protection and Validation | Space-based & In-situ Measurement | Space debris mitigation | Mitigation | Re-entry Risk Assessments | Active Removal and Remediation: Missions and Scenarios | Hypervelocity impacts, protection and shielding |
| Risk Analysis | Re-Entry of Risk Objects | Legal Issues | Accelerators, HVI & shielding | Protection | Orbit Prediction & Determination | Radar, Optical, and in-situ Measurements – in-situ | Radar measurements, and attitude measurements |
| Space Debris Mitigation | Risk Analysis and Damage Assessment | Micro-particles | HIV & Shielding | Risk Analysis | Debris Mitigation & Remediation - system aspects | Active Removal and Remediation: Concepts and Technologies | On-orbit and re-entry risk assessments |
| Space Debris Mitigation and Policy issues | Space Debris Mitigation | Modelling & Mitigation | Risk analysis | Standards, Policies & Initiatives | Debris Mitigation & Remediation – Concepts | Space Surveillance – Systems | Active removal, servicing, and remediation concepts |

| | | | | | | | |
|---------------------|--------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|--|--|--|
| Geostationary Orbit | Space Debris Handbooks and Standards | Reentry | Standards, regulations & legal issues | Orbit prediction & Determination | Debris Mitigation & Remediation – Implementation Aspects | Active Removal and Remediation: Capture Techniques | On-orbit and re-entry risk assessments |
| Legal Aspects | Policy and Legal Issues | Mitigation | Catalogues, services & tools | | Hypervelocity Impacts & Shielding | Space Surveillance – Sensor Technologies | Active removal, servicing, and remediation concepts |
| | | Risk Analysis | | | Standardization & Policies | Active Removal and Remediation: Rendez-Vous and Dynamics | On-orbit and re-entry risk assessments |
| | | Catalogs, Databases and Services | | | | Space Surveillance – Astrodynamics | Active removal, servicing, and remediation concepts |
| | | Standards and Handbooks | | | | Re-entry Risk Analysis – Tools and Techniques | Re-entry modelling and tools |
| | | | | | | Space Surveillance – Processing and Applications | Orbit prediction, determination, and cataloguing |
| | | | | | | Re-entry Risk Analysis – Predictions | Space situational awareness systems and applications |
| | | | | | | Operational Collision Avoidance | Orbit prediction, determination, and cataloguing |
| | | | | | | Re-entry Risk Analysis – Application | Space situational awareness systems and applications |
| | | | | | | Debris & Meteoroid Environment Modelling and Prediction – Large Constellations | Environmental impact assessments |
| | | | | | | Debris Mitigation: Techniques and Analyses | Space situational awareness systems and applications |
| | | | | | | Debris & Meteoroid Environment Modelling and Prediction | Debris aspects of large constellations |
| | | | | | | Debris Mitigation: Application and Processes | Re-entry modelling and tools |

Annexes

| | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|---|---|
| | | | | | | Debris & Meteoroid Environment Modelling and Prediction | AI and ML for collision avoidance and services |
| | | | | | | Debris Mitigation: Design Solutions | Regulatory aspects, standardisation, policies |
| | | | | | | | Operational collision avoidance and services and novel concepts |
| | | | | | | | Regulatory aspects, standardisation, policies |
| | | | | | | | Operational collision avoidance and services and novel concepts |
| | | | | | | | Future missions |

Annexe 4 – Thématiques des programmes de la European Space Debris Conference

| | Mesures | Modélisation | Protection | Mitigation Remédiation | Standardisation |
|------------------------|---|--|--|--|--|
| Conférence 1993 | Measurements of Space Debris and Meteoroids Hypervelocity Impacts and Accelerators | Modelling of Space Debris and Meteoroids | Shield Design and Protection Risk Analysis | Space Debris Mitigation Space Debris Mitigation and Policy issues | Legal Aspects |
| Conférence 1997 | Measurements of Space Debris and Meteoroids Hypervelocity Impacts and Fragmentation | Modelling of Space Debris and Meteoroids | Shield Design, Protection and Validation | Space Debris Mitigation | Space Debris Handbooks and Standards Policy and Legal Issues |
| Conférence 2001 | Modelling of Space Debris and Meteoroids | Modelling | Protection Risk Analysis | Modelling & Mitigation Mitigation | Legal Issues |
| Conférence 2005 | Ground-based measurements (optical, radar) Space-based and in-situ measurements | Debris & meteoroid environment modelling Determination & prediction of debris orbits | Accelerators, HVI & shielding HIV & Shielding Risk analysis | Space debris mitigation | Standards, regulations & legal issues |
| Conférence 2009 | Space Surveillance Measurements | Modelling Orbit prediction & Determination | Protection Risk Analysis | Mitigation | Standards, Policies & Initiatives |
| Conférence 2013 | In-Situ Measurements, Meteoroids & Data Processing Radar & optical Measurements Space Surveillance & Catalogs | Orbit Prediction & Determination Debris & Meteoroid Environment Modelling | Hypervelocity Impacts & Shielding On-Orbit Risk Assessments Re-entry Risk Assessments | Debris Mitigation & Remediation - system aspects, Concepts, Implementation Aspects « | Standardization & Policies |
| Conférence 2017 | Radar, Optical, in-situ measurements, ground based experiments, Space-Based, Attitude Space Surveillance Systems, Sensor Technologies, Astrodynamics, Processing and Applications | Re-entry Risk Analysis – Predictions Debris & Meteoroid Environment Modelling and Prediction – Large Constellations | Hypervelocity Impacts & Shielding – Application / Simulations and Tests Re-entry Risk Analysis, Application, Tools and Techniques | Debris Mitigation: Techniques and Analyses, Application and Processes, Design Solutions Active Removal and Remediation: Missions and Scenarios, Concepts and Technologies, Capture Techniques, Rendez-Vous and Dynamics | <i>Mitigation, Standardization, Policies, Legal Aspects (Poster session)</i> |

| | | | | | |
|-----------------------------------|--|--|---|---|--|
| <p>Conférence 2021</p> | <p>Radar measurements, attitude measurements Active and passive optical measurements</p> | <p>Re-entry modelling and tools Orbit prediction, determination, and cataloguing</p> | <p>Hypervelocity impacts, protection and shielding AI and ML for collision avoidance and services On-orbit and re-entry risk assessments Space situational awareness systems and applications</p> | <p>Debris mitigation techniques and processes Active removal, servicing, and remediation concepts</p> | <p>Regulatory aspects, standardisation, policies</p> |
|-----------------------------------|--|--|---|---|--|

Bibliographie

- Abbott, A. (1995). Things of boundaries. *Social research*, 857-882.
- Abbott, A. (2001). *Time matters : On theory and method*. University of Chicago Press.
- Abbott, K. W., & Snidal, D. (2000). Hard and soft law in international governance. *International organization*, 54(3), 421-456.
- Abell, P. (2004). Narrative explanation : An alternative to variable-centered explanation? *Annu. Rev. Sociol.*, 30, 287-310.
- Ackoff, R. L. (1981). On the use of models in corporate planning. *Strategic Management Journal*, 2(4), 353-359.
- Acquier, A., & Aggeri, F. (2008). Entrepreneuriat institutionnel et apprentissages collectifs. Le cas de la Global Reporting Initiative (GRI). *Management International*, 12(2), 65-80.
- Acquier, A., Boxenbaum, E., & Pinheiro-Croisel, R. (2011). *Standards and innovation in emerging fields : Pushing breakthrough innovation or enrolling actors ? An analysis of eco-district standards in France and Denmark*. pp.1-33.
- Acquier, A., Carbone, V., & Massé, D. (2019). How to create value (s) in the sharing economy : Business models, scalability, and sustainability. *Technology Innovation Management Review*, 9(2).
- Adilov, N., Alexander, P. J., & Cunningham, B. M. (2018). An economic “Kessler Syndrome” : A dynamic model of earth orbit debris. *Economics Letters*, 166, 79-82.
- Adler, E. (1992). The emergence of cooperation : National epistemic communities and the international evolution of the idea of nuclear arms control. *International organization*, 101-145.
- Aggeri, F. (2005). *Les régimes de gouvernementalité dans le domaine de l’environnement*. Presses Universitaires de Laval.
- Ahire, K. D., Sarolkar, P. S., Dongare, H. V., Kudale, A. R., & Patil, P. V. (2020). *Scenario Of Space Debris Management : A Review*. 9(02), 3.
- Ahrne, G., Aspers, P., & Brunsson, N. (2015). The organization of markets. *Organization Studies*, 36(1), 7-27.
- Ahrne, G., & Brunsson, N. (2008). *Meta-organizations*. Edward Elgar Publishing.
- Alary, D., & Rapp, L. (2019). The way forward to ICSO: an International Organization to handle a sustainable Space Traffic Management. *70th International Astronautical Congress (IAC-19)*.
- Albareda, L., & Sison, A. J. G. (2020). Commons Organizing : Embedding Common Good and Institutions for Collective Action. Insights from Ethics and Economics. *Journal of Business Ethics*, 166(4), 727-743.
- Alby, F., Alwes, D., Anselmo, L., Baccini, H., Bonnal, C., Crowther, R., Flury, W., Jehn, R., Klinkrad, H., & Portelli, C. (2001). The European space debris safety and mitigation standard. *Space Debris*, 473, 817-820.
- Aligica, P. D., & Tarko, V. (2012). Polycentricity: From Polanyi to Ostrom, and Beyond.

Governance, 25(2), 237-262.

Aliseda, A. (2006). *Abductive reasoning* (Vol. 330). Springer.

Angelis, M. D., & Harvie, D. (2013). The commons. In *The Routledge Companion to Alternative Organization*. Routledge.

Ansari, S., Wijen, F., & Gray, B. (2013). Constructing a Climate Change Logic : An Institutional Perspective on the « Tragedy of the Commons ». *Organization Science*, 24(4), 1014-1040.

Anscombe, G. E. M. (1978). Rules, rights, and promises. *Midwest Studies in Philosophy*, 3, 318-323.

Arjaliès, D.-L. (2020). 'At the Very Beginning, There's This Dream.' The Role of Utopia in the Workings of Local and Cryptocurrencies. Forthcoming in the *Palgrave "Handbook of Technological Finance,"* edited by Raghavendra (Raghu) Rau, Robert Wardrop and Luigi Zingales.(27 February 2020).

Arjaliès, D.-L., Hobeika, S., Ponssard, J.-P., & Poret, S. (2013). Le rôle de la labellisation dans la construction d'un marché. *Revue française de gestion*, 7, 93-107.

Arrow, K. J. (1974). *The limits of organization*. WW Norton & Company.

Aspers, P., Bengtsson, P., & Dobeson, A. (2020). Market fashioning. *Theory and society*, 49(3), 417-438.

Ayache, M., & Dumez, H. (2011). Le codage dans la recherche qualitative une nouvelle perspective? *Le Libellio d'Aegis*, 7(2-Eté), 33-46.

Ayache, M., & Dumez, H. (2022). Essai d'une phénoménologie de la franchise: *Annales des Mines - Gérer et comprendre*, N° 148(2), 13-23.

Battistelli, M. (2021). *Les stratégies d'entreprises ordinaires face aux grands défis : Des imaginaires alternatifs aux utopies réelles. Le cas d'un groupe d'entreprises impliqué dans la transition écologique du secteur de l'agencement de magasins*. Thèse de doctorat, Institut polytechnique de Paris.

Becker, H. S. (1985). *Outsiders*. Editions Métailié.

Becker, H. S. (2002). *Les ficelles du métier : Comment conduire sa recherche en sciences sociales*. La Découverte.

Becker, H. S. (2020). *Faire preuve : Des faits aux théories*. La Découverte.

Ben-Slimane, K., Justo, R., & Khelil, N. (2020). Institutional entrepreneurship in a contested commons : Insights from struggles over the Oasis of Jemna in Tunisia. *Journal of Business Ethics*, 166(4), 673-690.

Berardo, R., & Lubell, M. (2016). Understanding What Shapes a Polycentric Governance System. *Public Administration Review*, 76(5), 738-751.

Berkowitz, H., & Dumez, H. (2016). The concept of meta-organization : Issues for management studies. *European Management Review*, 13(2), 149-156.

Berthet, E. (2013). *Contribution à une théorie de la conception des agro-écosystèmes : Fonds écologique et inconnu commun*. École Nationale Supérieure des Mines de Paris.

Bess, T. D. (1975). *Mass distribution of orbiting man-made space debris*. Technical Note,

NASA.

- Bird, R. C. (2003). Procedural Challenges to Environmental Regulation of Space Debris. *American Business Law Journal*, 40(3), 635-685.
- Black, J. (2005). Proceduralisation and polycentric regulation. *Revista direito GV.*, 99.
- Black, J. (2008). Constructing and contesting legitimacy and accountability in polycentric regulatory regimes. *Regulation & governance*, 2(2), 137-164.
- Blumer, H. (1986). *Symbolic interactionism : Perspective and method*. University of California Press.
- Boley, A. C., & Byers, M. (2021). Satellite mega-constellations create risks in Low Earth Orbit, the atmosphere and on Earth. *Scientific Reports*, 11(1), 1-8.
- Bollier, D. (2014). *La renaissance des communs : Pour une société de coopération et de partage*. Charles Léopold Mayer.
- Bollier, D., & Helfrich, S. (2015). *Patterns of commoning*. Commons Strategy Group and Off the Common Press.
- Bonnal, C. (2016). *Pollution spatiale : L'état d'urgence*. Belin.
- Bourdieu, P. (2005). Principles of an economic anthropology. *The handbook of economic sociology*, 2, 75-89.
- Boyle, J. (2008). *The public domain : Enclosing the commons of the mind*. New Haven, Conn.; London: Yale University Press, 2008.
- Braithwaite, J. (2002). Rules and principles : A theory of legal certainty. *Australasian Journal of Legal Philosophy*, 27(2002), 47-82.
- Brammer, S., Branicki, L., Linnenluecke, M., & Smith, T. (2019). Grand challenges in management research : Attributes, achievements, and advancement. *Australian Journal of Management*, 44(4), 517-533.
- Brandenburger, A. M., & Nalebuff, B. J. (1995). *The right game : Use game theory to shape strategy* (Vol. 76). Harvard Business Review Chicago.
- Braun, V., Horstmann, A., Lemmens, S., Wiedemann, C., & Böttcher, L. (2021). Recent developments in space debris environment modelling, verification and validation with MASTER. *8th European Conference on Space Debris*.
- Bresnihan, P. (2016). *Transforming the fisheries : Neoliberalism, nature, and the commons*. U of Nebraska Press.
- Brette, H., Forshaw, J., Auburn, J., Blackerby, C., & Okada, N. (2019). Towards a future debris removal service : Evolution of an ADR business model. *70th International Astronautical Congress*.
- Brooks, D. R., Bess, T. D., & Gibson, G. G. (1974). Predicting the probability that earth-orbiting spacecraft will collide with man-made objects in space. *Amsterdam International Astronautical Federation Congress*.
- Brownlee, D. E., Tomandl, D. A., Hodge, P. W., & Horz, F. (1974). Elemental abundances in interplanetary dust. *Nature*, 252(5485), 667-669.
- Brunsson, N., & Jacobsson, B. (Éds.). (2005). *A World of Standards* (Reprinted). University

Bibliographie

Press.

- Brunsson, N., Rasche, A., & Seidl, D. (2012). The dynamics of standardization : Three perspectives on standards in organization studies. *Organization studies*, 33(5-6), 613-632.
- Buchs, R. (2020). *Pricing space junk : A policy assessment of space debris mitigation and remediation in the new space era*. Mémoire de Master. ETH Zürich.
- Buck, S. J. (2017). *The global commons : An introduction*. Routledge.
- Büthe, T., & Mattli, W. (2013). *The new global rulers : The privatization of regulation in the world economy*. Princeton University Press.
- Buxton, C. R. (2004). Property in outer space : The common heritage of mankind principle vs. The first in time, first in right, rule of property. *J. Air L. & Com.*, 69, 689.
- Cartel, M., Aggeri, F., & Caneill, J.-Y. (2017). The unknown story of the European carbon market : An archaeology of the electrical sector. *Entreprises et histoire*, 86(1), 54-70.
- Cartel, M., Boxenbaum, E., Aggeri, F., & Caneill, J.-Y. (2017). Policymaking as collective bricolage : The role of the electricity sector in the making of the European carbon market. In *Power, Policy and Profit* (p. 64-81). Edward Elgar Publishing.
- Cartwright, T. J. (1987). The lost art of planning. *Long Range Planning*, 20(2), 92-99.
- Chaddha, S. (2012). An inquiry for an institutional arrangement to govern the space commons. Available at SSRN 2194631.
- Cimmino, N., Isoletta, G., Opromolla, R., Fasano, G., Basile, A., Romano, A., Peroni, M., Panico, A., & Cecchini, A. (2021). Tuning of NASA standard breakup model for fragmentation events modelling. *Aerospace*, 8(7), 185.
- Colombo, C., Letizia, F., Trisolini, M., Lewis, H. G., Chanoine, A., Duvernois, P.-A., Austin, J., & Lemmens, S. (2017). *Life Cycle Assessment Indicator for Space Debris*. 12.
- Coriat, B. (2015). *Le retour des communs : & la crise de l'idéologie propriétaire*. Éditions Les Liens qui libèrent.
- Cornu, M., Orsi, F., & Rochfeld, J. (2021). *Dictionnaire des biens communs*. Presses Universitaires de France.
- Cornu, M., Orsi, F., & Rochfeld, J. (2017). *Dictionnaire des biens communs* (p. 1280). Presses Universitaires de France.
- Cox, S. J. B. (1985). No tragedy of the commons. *Environmental Ethics*, 7(1), 49-61.
- Crosnier, H. L. (2012). Elinor Ostrom. *Hermes, La Revue*, n° 64(3), 193-198.
- Cross, M. K. D. (2013). Rethinking epistemic communities twenty years later. *Review of International Studies*, 39(1), 137-160.
- Crumley, C. L. (1979). Three locational models : An epistemological assessment for anthropology and archaeology. *Advances in archaeological method and theory*, 2, 141-173.
- Dardot, P., & Laval, C. (2015). *Commun : Essai sur la révolution au XXIe siècle*. La découverte.
- David, A. (2000). Logique, épistémologie et méthodologie en sciences de gestion : Trois hypothèses revisitées. In *Les nouvelles fondations des sciences de gestion* (p. 83-109).

Vuibert-FNEGE.

- De Frond, H. L., van Seville, E., Parnis, J. M., Diamond, M. L., Mallos, N., Kingsbury, T., & Rochman, C. M. (2019). Estimating the mass of chemicals associated with ocean plastic pollution to inform mitigation efforts. *Integrated environmental assessment and management*, 15(4), 596-606.
- Deese, R. S. (2008). A metaphor at midlife: 'the tragedy of the commons' turns 40. *Endeavour*, 32(4), 152-155.
- DeMars, K. J., Cheng, Y., & Jah, M. K. (2014). Collision probability with Gaussian mixture orbit uncertainty. *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, 37(3), 979-984. Scopus.
- Dentoni, D., Bitzer, V., & Schouten, G. (2018). Harnessing wicked problems in multi-stakeholder partnerships. *Journal of Business Ethics*, 150(2), 333-356.
- Denzin, N. K. (2017). *Sociological methods : A sourcebook*. Routledge.
- Descola, P., & Charbonnier, P. (2014). *La composition des mondes : Entretiens avec Pierre Charbonnier*. Flammarion.
- Dietz, T., Ostrom, E., & Stern, P. C. (2003). The struggle to govern the commons. *Science*, 302(5652), 1907-1912.
- DiMaggio, P. (1998). The new institutionalisms : Avenues of collaboration. *Journal of Institutional and Theoretical Economics (JITE)/Zeitschrift für die gesamte Staatswissenschaft*, 154(4), 696-705.
- Dittrich, K. (2022). Scale in research on *grand challenges*. In *Organizing for societal grand challenges*. Emerald Publishing Limited.
- Doganova, L., & Laurent, B. (2019). Carving out a domain for the market : Boundary making in European environmental markets. *Economy and Society*, 48(2), 221-242.
- Donahue, J. (2010). *Catastrophe on the horizon: a scenario-based future effect of orbital debris*. Rapport de Recherche. Air command and staff college. Air University, 41.
- Drmola, J., & Hubik, T. (2018). Kessler syndrome : System dynamics model. *Space Policy*, 44, 29-39.
- Dubois, A., & Gadde, L.-E. (2002). The construction industry as a loosely coupled system : Implications for productivity and innovation. *Construction management & economics*, 20(7), 621-631.
- Duesenberry, J. S. (1949). *Income, saving, and the theory of consumer behavior*. Cambridge: Harvard University Press.
- Dumez, H. (2013). Qu'est-ce qu'un cas, et que peut-on attendre d'une étude de cas. *Le Libellio d'Aegis*, 9(2), 13-26.
- Dumez, H. (2021). *Méthodologie de la recherche qualitative : Les questions clés de la démarche compréhensive*. Vuibert.
- Dumez, H. (2022). Une note sur l'entretien à visée théorique en complément des entretiens (ou de l'observation) à visée exploratoire. *Le Libellio d'Aegis*, 18(1), 73-79.
- Dumez, H., & Jeunemaitre, A. (2006). Reviving narratives in economics and management :

- Towards an integrated perspective of modelling, statistical inference and narratives. *European Management Review*, 3(1), 32-43.
- Dumez, H., & Renou, S. (2020). *How Business Organizes Collectively : An Inquiry on Trade Associations and Other Meta-Organizations*. Edward Elgar Publishing.
- Dumez, H., & Rigaud, E. (2008). Comment passer du matériau de recherche à l'analyse théorique ? A propos de la notion de template. *Le Libellio d'Aegis*, 4(2), 40-46.
- Dumez, H., & Toussaint, C. (2022). Le grand oubli des sciences de gestion et de la théorie des organisations. Herbert Blumer et l'interactionnisme symbolique. *Le Libellio d'Aegis*, 18(1), 7-19.
- Easdown, W., & Felicetti, L. (2020). *A mission architecture and systems level design of navigation, robotics and grappling hardware for an on-orbit servicing spacecraft*.
- Eisenhardt, K. M., Graebner, M. E., & Sonenshein, S. (2016). *Grand challenges and inductive methods : Rigor without rigor mortis*. *Academy of Management Journal*, 59(4), 1113-1123.
- Euler, J. (2018a). Conceptualizing the commons : Moving beyond the goods-based definition by introducing the social practices of *commoning* as vital determinant. *Ecological Economics*, 143, 10-16.
- Euler, J. (2018b). Conceptualizing the Commons : Moving Beyond the Goods-based Definition by Introducing the Social Practices of *Commoning* as Vital Determinant. *Ecological Economics*, 143, 10-16.
- Federici, S. (2019). *Re-enchanting the World: Feminism and the Politics of the Commons*. PM Press.
- Feeny, D., Berkes, F., McCay, B. J., & Acheson, J. M. (1990). The tragedy of the commons : Twenty-two years later. *Human ecology*, 18(1), 1-19.
- Ferraro, F., Etzion, D., & Gehman, J. (2015). Tackling *Grand challenges* Pragmatically : Robust Action Revisited. *Organization Studies*, 3(36), 363-390.
- Festa, D. (2016). Les communs urbains. L'invention du commun. *Tracés. Revue de sciences humaines*, 16, 233-256.
- Fligstein, N. (2001). *The Architecture of Markets : An Economic Sociology of Twenty-First-Century Capitalist Societies*. Princeton University Press.
- Fligstein, N., & Dauter, L. (2007). The sociology of markets. *Annu. Rev. Sociol.*, 33, 105-128.
- Flury, W. (1994). Summary of the first European conference on space debris. *Acta Astronautica*, 34, 25-32.
- Flyvbjerg, B. (2006). Five Misunderstandings About Case-Study Research. *Qualitative Inquiry*, 12(2), 219-245.
- Flyverbom, M., & Garsten, C. (2021). Anticipation and organization : Seeing, knowing and governing futures. *Organization Theory*, 2(3), 26317877211020324.
- Fofack, R., & Morère, L. (2016). Les SHS à l'assaut des «communs». *Développement durable et territoires. Économie, géographie, politique, droit, sociologie*, 7(3).
- Foreman, V. L., Siddiqi, A., & De Weck, O. (2017). Large satellite constellation orbital debris impacts : Case studies of OneWeb and SpaceX proposals. *AIAA SPACE and*

Astronautics Forum and Exposition, 5200.

- Forshaw, J. L., Aglietti, G. S., Fellowes, S., Salmon, T., Retat, I., Hall, A., Chabot, T., Pisseloup, A., Tye, D., & Bernal, C. (2020). The active space debris removal mission RemoveDebris. Part 1 : From concept to launch. *Acta Astronautica*, 168, 293-309.
- Forshaw, J. L., Aglietti, G. S., Navarathinam, N., Kadhem, H., Salmon, T., Pisseloup, A., Joffre, E., Chabot, T., Retat, I., & Axthelm, R. (2016). RemoveDEBRIS: An in-orbit active debris removal demonstration mission. *Acta Astronautica*, 127, 448-463.
- Fournier, V. (2013). *Commoning* : On the social organisation of the commons. *M@n@gement*, 16(4), 433.
- Frankel, C., Ossandón, J., & Pallesen, T. (2019). The organization of markets for collective concerns and their failures. *Economy and Society*, 48(2), 153-174.
- Galaz, V., Crona, B., Österblom, H., Olsson, P., & Folke, C. (2012). Polycentric systems and interacting planetary boundaries—Emerging governance of climate change—ocean acidification—marine biodiversity. *Ecological Economics*, 81, 21-32.
- Garsten, C., & Sörbom, A. (2016). Magical formulae for market futures : Tales from the World Economic Forum meeting in Davos. *Anthropology Today*, 32(6), 18-21.
- Gegenhuber, T., Schuessler, E., Reischauer, G., & Thäter, L. (2022). Building collective institutional infrastructures for decent platform work : The development of a crowdwork agreement in Germany. In *Organizing for societal grand challenges*. Emerald Publishing Limited.
- Gehman, J., Etzion, D., & Ferraro, F. (2022). Robust action : Advancing a distinctive approach to *grand challenges*. In *Organizing for societal grand challenges*. Emerald Publishing Limited.
- Geiger, S., Harrison, D., Kjellberg, H., & Mallard, A. (2014). *Concerned markets : Economic ordering for multiple values*. Edward Elgar Publishing.
- George, G., Howard-Grenville, J., Joshi, A., & Tihanyi, L. (2016). Understanding and Tackling Societal *Grand challenges* through Management Research. *Academy of Management Journal*, 59(6), 1880-1895.
- Gibassier, D., De Menna, B., & Arjaliès, D.-L. (2015). *Social innovation institutionalization : The paradoxical negotiation of institutional voids. The case of French local and complementary currencies*. International conference on social and complementary currencies.
- Gibson-Graham, J.-K., Cameron, J., & Healy, S. (2016). *Commoning* as a postcapitalist politics 1. In *Releasing the commons* (p. 192-212). Routledge.
- Gigault, J., Ter Halle, A., Baudrimont, M., Pascal, P.-Y., Gauffre, F., Phi, T.-L., El Hadri, H., Grassl, B., & Reynaud, S. (2018). Current opinion : What is a nanoplastic? *Environmental pollution*, 235, 1030-1034.
- Girin, J. (2016). L'opportunisme méthodique dans les recherches sur la gestion des organisations. In *Langage, organisations, situations et agencements*. Presses de l'Université Laval.
- González-Hidalgo, M., & Zografos, C. (2020). Emotions, power, and environmental conflict : Expanding the 'emotional turn' in political ecology. *Progress in Human Geography*,

44(2), 235-255.

- Gorman, A. (2019a). *Dr Space Junk Vs the Universe : Archaeology and the Future*. MIT Press.
- Gorman, A. (2019b). Ghosts in the Machine : Space Junk and the Future of Earth Orbit. *Architectural Design*, 89(1), 106-111.
- Granqvist, N., Grodal, S., & Woolley, J. L. (2013). Hedging your bets : Explaining executives' market labeling strategies in nanotechnology. *Organization science*, 24(2), 395-413.
- Greenbaum, D. (2020). Space debris puts exploration at risk. *Science*, 370(6519), 922-922.
- Gümüşay, A., Marti, E., Trittin-Ulbrich, H., & Wickert, C. (2022). *How Organizing Matters for Societal Grand challenges*, 1-14.
- Haas, P. M. (1992). Introduction : Epistemic communities and international policy coordination. *International organization*, 1-35.
- Hall, J., Allen, L., Arion, D., Barentine, J., Caton, D., Liszt, H., Lowenthal, J., McKenna, D., Pipkin, A., & Seitzer, P. (2019). Light pollution, radio interference, and space debris : Threats and opportunities in the 2020s. *Bulletin of the American Astronomical Society*, 51(7), 97.
- Hall, L. (2014). The history of space debris. *Space Traffic Management Conference*.
- Hardin, G. (1968). The tragedy of the commons. *Science*, 162(3859), 1243-1248.
- Hardy, C., & Maguire, S. (2020). Organizations, risk translation, and the ecology of risks : The discursive construction of a novel risk. *Academy of Management Journal*, 63(3), 685-716.
- Harrison, R., & Lagunoff, R. (2017). Dynamic mechanism design for a global commons. *International Economic Review*, 58(3), 751-782.
- Hart, H. L. A. (1961). *The concept of law*. The Clarendon Press.
- Heikkilä, T., Villamayor-Tomas, S., & Garrick, D. (2018). Bringing polycentric systems into focus for environmental governance. In *Environmental Policy and Governance* (Vol. 28, Numéro 4, p. 207-211).
- Helinski, O. K., Poor, C. J., & Wolfand, J. M. (2021). Ridding our rivers of plastic : A framework for plastic pollution capture device selection. *Marine pollution bulletin*, 165, 112095.
- Hertzfeld, H. R., Weeden, B., & Johnson, C. D. (2016). Outer Space : Ungoverned or Lacking Effective Governance?: New Approaches to Managing Human Activities in Space. *SAIS Review of International Affairs*, 36(2), 15-28.
- Hess, C. (2008). Mapping the New Commons. *SSRN Electronic Journal*.
- Hess, C., & Ostrom, E. (2007). *Understanding knowledge as a commons*. The MIT Press.
- Hiatt, S. R., & Carlos, W. C. (2019). From farms to fuel tanks : Stakeholder framing contests and entrepreneurship in the emergent US biodiesel market. *Strategic Management Journal*, 40(6), 865-893.
- Hollender, R. (2016). A Politics of the Commons or *Commoning* the Political? Distinct Possibilities for Post-Capitalist Transformation. *Spectra*, 5(1).
- Howard-Grenville, J., & Spengler, J. (2022). Surfing the *Grand challenges* Wave in

- Management Scholarship : How Did We Get Here, Where are We Now, and What's Next? In *Organizing for Societal Grand challenges*. Emerald Publishing Limited.
- Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., & Law, K. L. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223), 768-771.
- Jarzabkowski, P., Bednarek, R., Chalkias, K., & Cacciatori, E. (2019a). Exploring inter-organizational paradoxes : Methodological lessons from a study of a grand challenge. *Strategic Organization*, 17(1), 120-132.
- Jarzabkowski, P., Bednarek, R., Chalkias, K., & Cacciatori, E. (2019b). Exploring inter-organizational paradoxes : Methodological lessons from a study of a grand challenge. *Strategic Organization*, 17(1), 120-132.
- Jasper, S. (2010). *Securing freedom in the global commons*. Stanford University Press.
- Jick, T. D. (1979). Mixing qualitative and quantitative methods : Triangulation in action. *Administrative science quarterly*, 24(4), 602-611.
- Joseph, B., & Pillai, M. B. (2020). The Cyberspace as a Distinct Domain of the Global Commons. *Global Commons: Issues, Concerns and Strategies*, 123.
- Kelso, T. S. (2007). Analysis of the 2007 Chinese ASAT Test and the Impact of its Debris on the Space Environment. *8th Advanced Maui Optical and Space Surveillance Technologies Conference, Maui, HI*, 7.
- Kelso, T. S. (2009). Analysis of the Iridium 33-Cosmos 2251 collision. *Advances in the Astronautical Sciences*, 135(2), 1099-1112.
- Kessler, D. J. (1993). A partial history of orbital debris : A personal view. *Orbital Debris Monitor*, 6(4), 10-16.
- Kessler, D. J., & Cour-Palais, B. G. (1978). Collision frequency of artificial satellites : The creation of a debris belt. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 83(A6), 2637-2646.
- Kessler, D. J., Johnson, N. L., Liou, J. C., & Matney, M. (2010). The kessler syndrome : Implications to future space operations. *Advances in the Astronautical Sciences*, 137(8), 2010.
- Kirchner, S., & Schübler, E. (2019). The organization of digital marketplaces : Unmasking the role of internet platforms in the sharing economy. *Organization outside organization*, 131-154.
- Kiss, A. (1985). The common heritage of mankind : Utopia or reality? *International Journal*, 40(3), 423-441.
- Kogut, B. (2012). *The Small Worlds of Corporate Governance*. MIT Press.
- Kouamé, S., & Liu, F. (2021). Capturing emotions in qualitative strategic organization research. *Strategic Organization*, 19(1), 97-112.
- Krag, H., Flohrer, T., Merz, K., Virgili, B. B., & Klinkrad, H. (2011). Requirements for a LEO surveillance radar in response to collision avoidance user needs. *EMR*, 2(5.0), 5.0.
- Kroeger, A., Siebold, N., Günzel-Jensen, F., Saade, F. P., & Heikkilä, J.-P. (2022). Tackling *grand challenges* collaboratively : The role of value-driven sensegiving. In *Organizing*

for societal grand challenges. Emerald Publishing Limited.

- Labatut, J., Aggeri, F., & Allaire, G. (2013). Étudier les biens communs par les changements institutionnels : Régimes de propriété autour des races animales face à l'innovation génomique. *Revue de la régulation. Capitalisme, institutions, pouvoirs*, 14, Article 14.
- Lambach, D., & Wesel, L. (2021). Tackling the Space Debris Problem : A Global Commons Perspective. *Proc. 8th European Conference on Space Debris*.
- Latour, B. (2004). Why has critique run out of steam ? From matters of fact to matters of concern. *Critical inquiry*, 30(2), 225-248.
- Le Crosnier, H. (2015). *En communs : Une introduction aux communs de la connaissance*. C & F Éditions.
- Le Crosnier, H. (2018). Une introduction aux communs de la connaissance. *Tic & société*, 12(1), 13-41.
- Le Masson, P., & Weil, B. (2014). Réinventer l'entreprise : La gestion collégiale des inconnus communs non appropriables. *L'entreprise, point aveugle du savoir*, 238.
- Lebreton, L., Van Der Zwet, J., Damsteeg, J.-W., Slat, B., Andrady, A., & Reisser, J. (2017). River plastic emissions to the world's oceans. *Nature communications*, 8(1), 1-10.
- Lecocq, X. (2012). Niveaux d'analyse et réification. *Le Libellio d'Aegis*, 8(4), 5-11.
- Lee, B. H., Hiatt, S. R., & Lounsbury, M. (2017). Market mediators and the trade-offs of legitimacy-seeking behaviors in a nascent category. *Organization Science*, 28(3), 447-470.
- Letizia, F., Lemmens, S., Wood, D., Rathnasabapathy, M., Lifson, M., Steindl, R., Acuff, K., Jah, M., Potter, S., & Khlystov, N. (2021). *Framework for the Space Sustainability Rating*. 8th European Conference on Space Debris.
- Lewis, H. G. (2020). Evaluation of debris mitigation options for a large constellation. *Journal of Space Safety Engineering*, 7(3), 192-197.
- Leyronas, S., & Bambridge, T. (2018). Communs et développement : Une approche renouvelée face aux défis mondiaux. *Revue internationale des études du développement*, N° 233(1), 11-29.
- Lincoln, Y. S., & Guba, E. G. (1985). *Naturalistic inquiry*. Sage.
- Linebaugh, P. (2008). *The Magna Carta manifesto : Liberties and commons for all*. University of California Press.
- Liou, J.-C., Hall, D. T., Krisko, P. H., & Opiela, J. N. (2004). LEGEND—A three-dimensional LEO-to-GEO debris evolutionary model. *Advances in Space Research*, 34(5), 981-986.
- Liou, J.-C., & Johnson, N. L. (2006). Risks in space from orbiting debris. In *Science* (Vol. 311, Numéro 5759, p. 340-341). American Association for the Advancement of Science.
- Locher, F. (2013). Les pâturages de la Guerre froide : Garrett Hardin et la « Tragédie des communs ». *Revue d'histoire moderne et contemporaine*, 60-1(1), 7.
- Locher, F. (2018). L'océan en communs. Épuisement des ressources, appropriation et communautés. *Annales des Mines-Responsabilité et environnement*, 4, 10-13.

Bibliographie

- Lodge, M. W. (2004). The International Seabed Authority—Its Future Directions. In *Legal and Scientific Aspects of Continental Shelf Limits* (p. 403-409). Brill Nijhoff.
- Macauley, M. K. (2015). The economics of space debris : Estimating the costs and benefits of debris mitigation. *Acta Astronautica*, 115, 160-164.
- Maguire, S., Hardy, C., & Lawrence, T. B. (2004). Institutional entrepreneurship in emerging fields : HIV/AIDS treatment advocacy in Canada. *Academy of management journal*, 47(5), 657-679.
- Masson, A., Haskamp, C., Ahrns, I., Brochard, R., Duteis, P., Kanani, K., & Delage, R. (2017). Airbus DS Vision Based Navigation solutions tested on LIRIS experiment data. *ESA 7th Space Debris Conference, 2017*.
- Matney, M., Manis, A., Anz-Meador, P., Gates, D., Seago, J., Vavrin, A., & Xu, Y.-L. (2019). The NASA orbital debris engineering model 3.1 : Development, verification, and validation. *1st International Orbital Debris Conference, Sugar Land, TX*, 9-12.
- Maury, T., Loubet, P., Trisolini, M., Gallice, A., Sonnemann, G., & Colombo, C. (2019). Assessing the impact of space debris on orbital resource in life cycle assessment : A proposed method and case study. *Science of The Total Environment*, 667, 780-791.
- Mazzucato, M., & Robinson, D. K. (2018). Co-creating and directing Innovation Ecosystems ? NASA's changing approach to public-private partnerships in low-earth orbit. *Technological Forecasting and Social Change*, 136, 166-177.
- McGinnis, M., & Ostrom, E. (1996). Design principles for local and global commons. *The international political economy and international institutions*, 2, 465-493.
- McGinnis, M. D. (2011). Networks of adjacent action situations in polycentric governance. *Policy Studies Journal*, 39(1), 51-78.
- McGinnis, M. D. (2016). *Polycentric Governance in Theory and Practice : Dimensions of Aspiration and Practical Limitations* (SSRN Scholarly Paper N° 3812455).
- McKnight, D., Witner, R., Letizia, F., Lemmens, S., Anselmo, L., Pardini, C., Rossi, A., Kunstadter, C., Kawamoto, S., & Aslanov, V. (2021). Identifying the 50 statistically-most-concerning derelict objects in LEO. *Acta Astronautica*, 181, 282-291.
- Mero, J. L. (1960). Mineral resources on the ocean floor. In *Mining Congr. J.* 46, 48-53.
- Meyer, C., & Hudon, M. (2019). Money and the commons : An investigation of complementary currencies and their ethical implications. *Journal of Business Ethics*, 160(1), 277-292.
- Micheaux, H. (2017). *Le retour du commun au cœur de l'action collective : Le cas de la Responsabilité Élargie du Producteur comme processus de responsabilisation et de co-régulation*. Thèse de doctorat. Université de recherche Paris Sciences et Lettres PSL Research University.
- Micheaux, H. (2019). *Responsabiliser pour transformer : Des déchets aux mines urbaines - Helen Micheaux*. Presses de l'École des Mines.
- Micheaux, H., & Aggeri, F. (2019). Le déchet comme potentiel commun : Vers une nouvelle forme de gouvernance de l'environnement. *Annales des Mines - Gérer et comprendre*, N° 137(3), 3.
- Miles, M. B., & Huberman, A. M. (2003). *Analyse des données qualitatives*. De Boeck Supérieur.

Bibliographie

- Morin, J.-F., & Richard, B. (2021). Astro-Environmentalism : Towards a Polycentric Governance of Space Debris. *Global Policy*, 12(4), 568-573.
- Morrison, T. H., Adger, W. N., Brown, K., Lemos, M. C., Huitema, D., & Hughes, T. P. (2017). Mitigation and adaptation in polycentric systems : Sources of power in the pursuit of collective goals. *WIREs Climate Change*, 8(5), e479.
- Navis, C., & Glynn, M. A. (2010). How new market categories emerge : Temporal dynamics of legitimacy, identity, and entrepreneurship in satellite radio, 1990–2005. *Administrative science quarterly*, 55(3), 439-471.
- Nayak, P. K., & Berkes, F. (2021). Framing commons as a process : The rudiments of commonisation and decommonisation. In *Making Commons Dynamic* (p. 3-23). Routledge.
- Nightingale, A. (2013). Fishing for nature : The politics of subjectivity and emotion in Scottish inshore fisheries management. *Environment and Planning A*, 45(10), 2362-2378.
- Ntsondé, J., & Aggeri, F. (2022). L'économie circulaire comme utopie rationnelle. De la fiction à sa performance. *Revue française de gestion*, 304(3), 43-63.
- Ntsondé, J., & Aggeri, F. (2021). Stimulating innovation and creating new markets – The potential of circular public procurement. *Journal of Cleaner Production*, 308, 127303.
- Olson, M. (1966). *The Logic of Collective Action*. Harvard University Press.
- Ossandón, J., & Ureta, S. (2019). Problematizing markets : Market failures and the government of collective concerns. *Economy and Society*, 48(2), 175-196.
- Ostrom, E. (1990). *Governing the commons : The evolution of institutions for collective action*. Cambridge University Press.
- Ostrom, E. (2009). *Understanding institutional diversity*. Princeton University Press.
- Ostrom, E. (2010). Polycentric systems for coping with collective action and global environmental change. *Global environmental change*, 20(4), 550-557.
- Ostrom, E., Burger, J., Field, C. B., Norgaard, Richard. B., & Policansky, D. (1999). Revisiting the Commons : Local Lessons, Global Challenges. *Science*, 284(5412), 278-282.
- Ostrom, V., Tiebout, C. M., & Warren, R. (1961). The Organization of Government in Metropolitan Areas : A Theoretical Inquiry. *The American Political Science Review*, 55(4), 831-842.
- Ozcan, P., & Santos, F. M. (2015). The market that never was : Turf wars and failed alliances in mobile payments. *Strategic management journal*, 36(10), 1486-1512.
- Parker, C., Scott, S., & Geddes, A. (2019). Snowball sampling. *SAGE research methods foundations*.
- Patala, S., Albareda, L., & Halme, M. (2022). Polycentric governance of privately-owned resources in circular economy systems. *Journal of Management Studies*, 59(6), 1563-1596.
- Peredo, A. M., Haugh, H. M., Hudon, M., & Meyer, C. (2020). Mapping Concepts and Issues in the Ethics of the Commons : Introduction to the Special Issue. *Journal of Business Ethics*, 166(4), 659-672.
- Perek, L. (2005). Management Issues Concerning Space Debris. *Proceedings of the Fourth*

European Conference on Space Debris, Darmstadt.

- Peterson, M. J. (1997). The use of analogies in developing outer space law. *International Organization*, 51(2), 245-274.
- Pinkham, R., & Chaplin, S. (1996). *Water 2010 : Four scenarios for 21st century water systems.*
- Pitelis, C. N., & Teece, D. J. (2009). The (new) nature and essence of the firm. *European management review*, 6(1), 5-15.
- Portree, D. S., & Loftus, J. P. (1993). *Orbital debris and near-earth environmental management: A chronology* (Vol. 1320). National Aeronautics and Space Administration, Office of Management, Scientific and Technical Information Program.
- Quinn Patton, M. (2002). *Qualitative research and evaluation methods.* Sage.
- Rathnasabapathy, M., Wood, D., Letizia, F., Lemmens, S., Jah, M., Schiller, A., Christensen, C., Potter, S., Khlystov, N., Soshkin, M., Acuff, K., Lifson, M., & Steindl, R. (2020). Space sustainability rating : Designing a composite indicator to incentivize satellite operators to pursue long-term sustainability of the space environment. *Proceedings of the International Astronautical Congress, IAC.*
- Raulet-Croset, P. N. (1998). Du conflit à la coopération autour d'un problème d'environnement. Une première étape, la construction d'un cadrage. *Annales des Mines*, 11.
- Rittel, H. W., & Webber, M. M. (1973). Dilemmas in a general theory of planning. *Policy sciences*, 4(2), 155-169.
- Robinson, D. K., & Mazzucato, M. (2019). The evolution of mission-oriented policies : Exploring changing market creating policies in the US and European space sector. *Research Policy*, 48(4), 936-948.
- Rossi, A., Alessi, E. M., Valsecchi, G. B., Lewis, H., Radtke, J., Bombardelli, C., & Bastida Virgili, B. (2017). *A quantitative evaluation of the environmental impact of the mega constellations.*
- Ryle, G. (1971). Thinking and Reflecting. In *Collected Papers, Volume II. Collected Essays 1929-1968* (p. 479-493). Hutchinson.
- Salter, A. W. (2015). Space Debris : A Law and Economics Analysis of the Orbital Commons. *Stan. Tech. L. Rev.*, 19, 221.
- Schefter, J. (1982). The growing peril of space debris. *Popular Science*, 221(1), 48.
- Schoemaker, P. J. (1995). Scenario planning : A tool for strategic thinking. *Sloan management review*, 36(2), 25-50.
- Schoeneborn, D., Vásquez, C., & Cornelissen, J. P. (2022). Theorizing the role of metaphors in co-orienting collective action toward *grand challenges* : The example of the Covid-19 pandemic. In *Organizing for societal grand challenges.* Emerald Publishing Limited.
- Scott, W. R. (2013). *Institutions and Organizations : Ideas, Interests, and Identities.* SAGE Publications.
- Sère, B. (2010). Aristote et le bien commun au moyen âge : Une histoire, une historiographie. *Revue Française d'Histoire des Idées Politiques*, 32(2), 277-291.
- Sgard, A. (2010). Le paysage dans l'action publique : Du patrimoine au bien commun.

Développement durable et territoires. Économie, géographie, politique, droit, sociologie, 1(2).

Singh, N. (2017). Becoming a commoner : The commons as sites for affective socio-nature encounters and co-becomings. *ephemera: theory & politics in organization*, 17(4).

Stjerne, I. S., Wenzel, M., & Svejenova, S. (2022). Commitment to *grand challenges* in fluid forms of organizing : The role of narratives' temporality. In *Organizing for societal grand challenges*. Emerald Publishing Limited.

Stouffer, S. (1949). *1950 The American Soldier (3 vols.)*. NJ Princeton University Press.

Swanborn, P. (2010). *Case study research : What, why and how?* Sage.

Tepper, E. (2019). Structuring the Discourse on the Exploitation of Space Resources : Between Economic and Legal Commons. *Space Policy*, 49, 101290.

Thiel, A. (2017). The scope of polycentric governance analysis and resulting challenges. *Journal of Self-Governance and Management Economics*, 5(3), 52-82.

Thompson, S. K., & Collins, L. M. (2002). Adaptive sampling in research on risk-related behaviors. *Drug and Alcohol Dependence*, 68, 57-67.

Tkatchova, S. (2018). *Emerging Space Markets*. Springer.

Tramoy, R., Gasperi, J., Dris, R., Colasse, L., Fisson, C., Sananes, S., Rocher, V., & Tassin, B. (2019). Assessment of the plastic inputs from the Seine Basin to the sea using statistical and field approaches. *Frontiers in Marine Science*, 6, 151.

Trur, A. (2021a). Governance aspects of space sustainability : The role of epistemic actors as enablers of progress. *Acta Astronautica*, 180, 451-459.

Trur, A. (2021b). *Space Sustainability Governance and the Space Debris Case : A Study of Epistemic Communities' Influences over International Policy Coordination*. Thèse de doctorat. 政策研究大学院大学/National Graduate Institute for Policy Studies.

Tucker, A. W. (1950). A two-person dilemma. *Prisoner's Dilemma*.

Tweed, A., & Charmaz, K. (2011). Grounded Theory Methods for Mental Health Practitioners. In D. Harper & A. R. Thompson (Éds.), *Qualitative Research Methods in Mental Health and Psychotherapy* (1^{re} éd., p. 131-146). Wiley.

Undseth, M., Jolly, C., & Olivari, M. (2020). *Space sustainability : The economics of space debris in perspective*. Rapport OCDE, n°87.

Undseth, M., Jolly, C., & Olivari, M. (2021). The economics of space debris in perspective. *Proc. 8th European Conference on Space Debris*, 14-15.

Vallado, D. A., Kelso, T. S., Agapov, V., & Molotov, I. (2009). Orbit determination issues and results to incorporate optical measurements in conjunction operations. *5th European Conference on Space Debris. Darmstadt, Germany*, 30.

Vogler, J. (2012). Global Commons Revisited. *Global Policy*, 3(1), 61-71.

von der Dunk, F. (2015). *Handbook of space law*. Edward Elgar Publishing.

Weeden, B. (2016). *The Evolution of U.S. National Policy for Addressing the Threat of Space Debris*. International Astronautical Congress (IAC), Guadalajara, Mexico, 26-30.

Weeden, B., & Chow, T. (2011). Developing a framework and potential policies for space

Bibliographie

- sustainability based on sustainable management of common-pool resources. *IAC-10 E*, 3.
- Weeden, C., Blackerby, C., Forshaw, J., Martin, C., Lopez, R., Yamamoto, E., & Okada, N. (2019). Development of global policy for active debris removal services. *First International Orbital Debris Conference*.
- White, H. C. (1981). Where do markets come from? *American journal of sociology*, 87(3), 517-547.
- Whyte, W. F. (1984). *Learning from the field : A guide from experience* (Numéro 123). Sage.
- Wiebe, K., Zurek, M., Lord, S., Brzezina, N., Gabrielyan, G., Libertini, J., Loch, A., Thapa-Parajuli, R., Vervoort, J., & Westhoek, H. (2018). Scenario development and foresight analysis : Exploring options to inform choices. *Annual Review of Environment and Resources*, 43, 545-570.
- Wijen, F., & Ansari, S. (2007). Overcoming inaction through collective institutional entrepreneurship : Insights from regime theory. *Organization studies*, 28(7), 1079-1100.
- Williams, A., & Rotola, G. (2021). *Bringing policy coherence to satellite constellation mitigations for space debris and astronomy*. 8th European Conference on Space Debris.
- Yin, R. K. (2009). *Case study research : Design and methods*. Sage publications. Thousand oaks.
- Young, O., & Bouyssou, R. (2000). Gérer les biens communs planétaires. Réflexions sur un changement d'échelle. *Critique internationale*, 9(1), 147-160.
- Zietsma, C., Toubiana, M., Voronov, M., & Roberts, A. (2019). *Emotions in Organization Theory*. Cambridge University Press.



Titre : Gérer en commun un problème complexe d'échelle planétaire ? Le cas des débris spatiaux

Mots clés : grand challenges ; communs globaux ; gouvernance polycentrique ; émergence de marché ; commoning ; espace durable

Résumé : Les problèmes complexes à l'échelle planétaire sont multidimensionnels et impliquent des parties prenantes hétérogènes dont les intérêts divergent. Cette thèse interroge les modes de gestion mis en œuvre par les acteurs pour faire face à ce type de situation. La recherche menée se concentre sur le cas des débris spatiaux, dont la multiplication sur les orbites terrestres menace aujourd'hui la poursuite des activités spatiales.

Un premier mode de gestion du problème repose sur l'émission de règles variées, au sein de plusieurs forums de régulation. Les acteurs tentent également de créer un nouveau marché en mettant en place différentes stratégies. La notion de commun semble enfin nécessaire pour comprendre les dynamiques de l'action collective et ses limites. À partir de ces résultats, la thèse identifie un nouveau mode de gestion, appelé le commoning global. Ce dernier repose sur une

communauté d'individus, ou de commoneurs globaux, qui entretiennent une relation affective avec le problème, contribuent à l'émergence et à la coordination d'un système polycentrique de règles, produisent des connaissances de statuts divers qui visent à orienter le comportement des acteurs, et sont également chargés de faire connaître le problème.

À travers l'identification de ce nouveau mode de gestion, nous avons cherché à donner à voir le processus social d'organisation qui se manifeste au fur et à mesure de la découverte et de la structuration d'un problème complexe d'échelle planétaire. La thèse souligne le rôle central que jouent les membres de cette communauté épistémologique-affective, qui font le lien entre le processus de régulation, la création de marché, la production de connaissances orientées vers le comportement des acteurs.

Title : Managing collectively a complex problem on a planetary scale? The case of space debris.

Keywords: grand challenges; global commons; polycentric governance; market fashioning; commoning; space sustainability

Abstract: Complex and global problems are multidimensional and involve heterogeneous stakeholders with divergent interests. This doctoral thesis questions the management methods used by actors to deal with this type of situation. The research focuses on the case of space debris, whose proliferation on Earth's orbits threatens the pursuit of space activities.

A first way of managing the problem is to issue new rules, from several regulatory centers. The actors try to create new markets by implementing different strategies. The idea of commons also seems necessary to understand the dynamics of collective action and its limits. Based on these results, we identify global commoning as a new way of managing complex problems on a planetary scale.

It is based on a community of individuals, or global commoners, maintaining an emotionally-driven relationship with the problem and contributing to the coordination of a polycentric system. They also produce different kinds of knowledge, aiming to guide the behavior of actors, and are responsible for its consequent diffusion. We have sought to show the social organizing process that unfolds through the discovery and structuration of a complex and global problem. Our results highlight the central role played by the members of this epistemological-affective community, making the link between the regulatory process, the creation of markets and the production of behavior-oriented knowledge.