
Le caractère innovant du programme spatial japonais -

Auteur : Mary, Robert

Promoteur(s) : Thele, Andreas

Faculté : Faculté de Philosophie et Lettres

Diplôme : Master en langues et lettres anciennes, orientation orientales

Année académique : 2019-2020

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/8555>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.



Faculté de Philosophie et Lettres
Département des Sciences de l'Antiquité



Le caractère innovant du programme spatial japonais

日本の宇宙計画の革新的な性質

Nihon no uchū keikaku no kakushinteki na seishitsu

Mémoire présenté par *Robert MARY*

**Dans le cadre du Master en langues et
lettres anciennes, orientation
orientales**

Année académique 2019 - 2020

Remerciements

Je remercie monsieur Andreas THELE mon directeur de mémoire, spécialiste du Japon ainsi que monsieur Philippe SWENNEN mon lecteur de mémoire, spécialiste de l'Inde, de la mythologie comparée mais aussi Président du Conseil des Études en langues et lettres anciennes, orientation orientales.

Je tiens à remercier spécialement monsieur le professeur Gregor RAUW, également lecteur de ce mémoire, astrophysicien, titulaire du cours intitulé « Exploration Spatiale » de la faculté des Sciences de l'Université de Liège. Pour ce qui concerne les sciences spatiales il est le garant de la rigueur scientifique de ce mémoire.

Cette démarche démontre une réelle coopération interfacultaire
(Facultés des Sciences et de Philosophie et Lettres).

Mes remerciements vont également à madame la professeure Yaël NAZÉ, astrophysicienne mais aussi spécialiste de l'histoire de l'astronomie, titulaire des cours intitulés « Evolution des idées en Astronomie » et « Initiation à l'esprit critique » de la faculté des Sciences de l'Université de Liège.

Je remercie tout particulièrement pour le point de vue japonais au sujet de ce mémoire deux anciens vice-présidents de la Fédération Aéronautique Internationale, à savoir, monsieur Seishiro KIBE, ex-conseiller scientifique principal à la JAXA (département Recherche et Relations Internationales), ainsi que monsieur Tatsuo YASAKA, professeur émérite à l'Université de Kyushu.

Remerciements particuliers à Neil ARMSTRONG pour son petit pas...

弘法にも筆の誤り。

Kōbō ni mo fude no ayamari.

Even Buddhist teaching scrolls/scripts have some brush slips.

Even the greatest expert or master sometimes fails.

Proverbe japonais¹ illustrant une conséquence malheureusement avérée de la quête d'innovation.

¹ Chacun fait des erreurs de temps en temps (Ici, *Kōbō* fait référence au moine bouddhiste, saint, auteur, et calligraphe, *Kōbō Daishi*, aussi connu sous son nom de moine *Kūkai*). Il fonda la secte Shingon en +820 à l'époque Heian et est aussi considéré comme l'un des des trois plus grands calligraphes japonais dans l'histoire. Sources: « Japanese proverbs



Executive Summary

Short presentation of JAXA

Japan is the fourth space power on Earth. JAXA (Japanese Space Exploration Agency) put successfully into orbit a satellite (*Ōsumi*) in 1970. Japan is the sole Asian country which is part of the International Space Station (ISS) providing logistic and scientific support (*Kōnotori*, an automated transport vehicle and *Kibō* as exploration module), demonstrating the high cooperation level Japan achieved among the international community since 1985. A Japanese astronaut was even in charge of the ISS command in 2014.

The JAXA space programme is also influenced by the geographical situation of Japan and therefore mainly focused on natural disaster prevention. JAXA cooperates at international level on this aspect, to the benefit of ASEAN countries.

The quest for innovation

The present study explores the innovative aspect of the Japanese space programme and space missions. The Japanese space programme is innovative but not in all its components, this is due to budget constraints. Innovation also results from the capacity to manage initial failure (*Hiten* probe managed to deploy *Hagoromo* satellite in Lunar orbit in 1991 thanks to the very first application in space of a scientific theory dating from 1925). The major drawback of innovation is sometimes the partial failure of space missions (e.g. *Hitomi* where the spacecraft was lost due to software calculation errors causing satellite break-up of the satellite in space). Japan is the third space power in terms of scientific missions (after USA and Europe), proving its innovation capability. The search for innovation is clearly demonstrated in the following scientific sectors and missions: X-ray (*Hitomi* in 2016), infra-red (*SPICA*, a telescope cryogenically cooled by JAXA to be launched in space by JAXA in 2027), space debris management (*Kōnotori 6* mission with integrated tether experiment in 2017, only Japan proceeds to tests in space), discovery of Venus (*Akatsuki* probe was awakened in 2015 after five years of silence demonstrating also successful use of solar sail *Ikaros*), study of comets and asteroids (*Hayabusa-1* probe bringing samples of *Itokawa* asteroid in 2010 - after seven years of silence- using ionic propulsion, and *Tsubame* microsatellite testing ionic propulsion in super low altitude in 2017), and use of solar energy converted into electricity on Earth (Space Solar System Power System, a project scheduled for 2030).

The influence of culture

The Japanese space programme and its space missions have been influenced by Japanese history (including Japanese mythology) and Japanese culture (past and present). Japanese culture explains why JAXA is seeking for excellency (*Muga* is a quest for excellency derived from a Japanese version of Zen buddhism), it also explains why the director of JAXA publicly apologized in June 2016 towards Japanese citizens and the international scientific community after the failure of *Hitomi* (when *Giri* towards his own name -i.e. when moral duty to meet obligations- can not be satisfied, the person has to apologize to « clear his name »). No other space agency ever behaved like this.

Make a safer use of space

Influenced by the Constitution of Japan in 1947 and the law creating JAXA in 2002, the Japanese space programme has always promoted the use of space for peaceful purposes. However some technologies named « dual technologies » allow the use of space in both the civilian and military. The use of dual technologies for defense purpose can be explained by geopolitical considerations (China tested an antisatellite weapon in 2007 creating space debris). As a result Japan revised a law regarding its activities in space in 2008, allowing the creation of a « space policy division » which was put in place in 2012. This defensive force is responsible for monitoring dangerous debris floating within close vicinity of the Earth, as well as for protecting satellites from collisions or attacks. Space debris monitoring activities of JAXA occur in close cooperation with NASA from 2013 on, sharing a space operation center within the Space Situation Awareness (SSA) project. JAXA is the sole space agency which tested the removal of space debris in space in 2017, even if unsuccessful so far this is another evidence of Japanese innovation. Japan -by its space policy division- is also the leading country advocating the creation of a binding International Code of Conduct for Outer Space Activities in order to prevent and manage space debris.

Conclusion

Although limited in scope due to budget constraints, JAXA has demonstrated its regular quest for innovation (especially from the nineties) in different scientific topics throughout different missions over time, knowing both success and failure. Innovation is part of Japanese culture, and is namely intended for the benefit of the international community protecting not only Japan but Earth from various dangers, even though dual technologies by nature can be used « for wrong purposes » in a space offensive strategy. Fortunately Japan's space strategy promotes the peaceful use of space by defensive ways. Within the framework of a collective self-defence strategy (allowing offensive actions by security laws of 2015), Japanese innovation in dual technologies is at the service of the formal alliance with the United States. Use of safe space coupled with innovative technologies is mandatory for Japan for the achievement of its scientific, economic and defensive military goals as well as its technical autonomy in space science.



日本の宇宙計画の革新的な性質 要旨

JAXA の概要

日本は世界で 4 番目の宇宙大国です。1970 年に JAXA (宇宙航空研究開発機構、以下 JAXA) は日本初の人工衛星「おおすみ」を軌道に乗せました。日本はアジアで唯一、国際宇宙ステーション (ISS) に物流及び科学的支援を提供しており (宇宙ステーション補給機「こうのとり」と実験モジュール「きぼう」)、1985 年以来、国際社会で高いレベルの協力を行っていることが示されています。2014 年には、日本の宇宙飛行士が ISS の指揮も担当しました。

JAXA の宇宙計画は日本の地理的状况にも影響され、防災に重点が置かれています。また、JAXA はこの点において、ASEAN 諸国の利益を考慮し、国際レベルの協力もしています。

イノベーションの探求

本研究では、日本の宇宙計画及び宇宙ミッションの革新的な側面を考察しています。日本の宇宙計画は革新的ですが、あらゆる面において革新的だとは言えません。それは予算が限られているからです。イノベーションは初期の失敗からも生み出されています (例えば、探査機「ひてん」は 1975 年の最初期の宇宙科学理論に基づき、1991 年に衛星「はごろも」を月周回軌道に投入することに成功しました)。一方、宇宙ミッションの部分的な失敗がイノベーションを阻害することもあります (例えば、ソフトウェア計算エラーが原因で、X 線天文衛星「ひとみ」は宇宙で分解されました)。

日本は科学ミッション面において、米国とヨーロッパに次ぐ 3 番目の宇宙大国で、そのイノベーション能力が証明されています。イノベーションの追求は、次にあげる科学部門のミッションではっきりと示されています。すなわち、X 線天文衛星「ひとみ」(2016 年)、2027 年の打上げを目指す極低温大型鏡の次世代赤外線天文衛星「SPICA」、スペースデブリ管理面での「こうのとり 6 号機」の導電性テザー実証実験 (2017 年、日本のみが宇宙で実験を実施)、金星探査機「あかつき」(あかつきは 5 年の沈黙ののち 2015 年に再投入され小型ソーラー電力セイル実証機「IKAROS」の成功も証明されました)、彗星と小惑星の研究 (2010 年にイオンエンジンを搭載した小惑星探査機「はやぶさ 1」が地球を出発してから 7 年後に小惑星イトカワのサンプルを持ち帰ることに成功、2017 年に超低高度衛星技術試験機「つばめ」を開発)、2030 年の実現を目指す宇宙太陽光発電です。

文化面の影響

日本の宇宙計画と宇宙ミッションは、日本の歴史(日本の神話を含む)と過去そして現在の日本の文化に影響されてきました。JAXA が卓越性を追求する理由は、日本の文化で説明できます。例えば、「無我」は日本の禅から派生した卓越性の追求です。2016年6月にJAXAの奥村理事長がX線天文衛星「ひとみ」の失敗を国民に謝罪したことも日本の文化で説明できます。義務を果たすことができないとき、その人は道徳面で「名を晴らす」義理があるでしょう。このようなふるまいをする宇宙機関は他にはありません。

より安全な宇宙の活用

1947年の日本国憲法及び2002年の宇宙航空研究開発機構法に基づき、日本の宇宙計画は常に宇宙の平和利用を推進してきました。しかし、「デュアルユース技術」と呼ばれるいくつかの技術は、民事および軍事双方での宇宙の利用を可能にします。防衛目的でデュアルユース技術を利用することは、地政学的視点から説明できます。例えば、中国は2007年に衛星破壊兵器実験を行い、その結果大量のスペースデブリが発生しました。これを受け、日本は2008年に宇宙での活動に関する法律を改正し、2012年に宇宙政策委員会を設置、デブリの発生防止や衝突被害防止に取り組んでいます。JAXAのスペースデブリ監視活動は2013年からNASA(米航空宇宙局、以下NASA)と協力し、宇宙状況把握(SSA)システムを通じ、宇宙運用センターを共有しています。2017年にJAXAは宇宙機構として唯一、スペースデブリの除去をテストしました。結果は失敗しましたが、日本のイノベーションのもうひとつの証拠と言えるでしょう。日本は、宇宙政策委員会を通じて、スペースデブリの防止及び管理のための「宇宙活動に関する国際行動規範」の制定を提唱する主要国のひとつにもなっています。

結論

予算の制限のため研究範囲は限られていますが、JAXAは90年代から様々なミッションを通して様々な科学的テーマにおけるイノベーションを追求し、成功も失敗も経験してきました。イノベーションは日本の文化の一部であり、デュアルユース技術が「間違った目的」で使用される可能性があっても、国際社会の利益のため、日本だけではなく地球全体を様々な危険から守ることを目指しています。幸い、日本の宇宙戦略は防衛のための平和的な宇宙利用を推進しています。2015年の安全保障関連法により攻撃行動が可能になった集团的自衛戦略の枠組みの中では、デュアルユース技術における日本のイノベーションは米国との正式な同盟のために活用されます。革新的な技術で安全に宇宙を活用することは、日本にとって、科学、経済、防衛上の目標、そして宇宙科学における技術的自主性を実現するために必要不可欠です。

1. Introduction

1.1 Raison d'être de ce mémoire

Le but de ce travail est de répondre aux questions de recherche suivantes :

1. Le programme spatial japonais et les missions spatiales de la JAXA² sont-ils innovants ? (ou dit plus simplement : qu'y a-t-il dans l'espace extra-atmosphérique de spécifiquement japonais et innovant ?)
2. Dans l'affirmative, s'agit-il d'une innovation homogène ou limitée à certains secteurs précis du programme spatial ?
3. Quels peuvent être les effets pervers de l'innovation au vu des missions réalisées à ce jour ?

1.2 Approche théorique

- Ce travail n'étant pas un mémoire en sciences politiques, il n'est dès lors pas lié à une quelconque théorie des relations internationales. Ce n'est pas non plus un mémoire en journalisme ; dès lors, il n'est pas lié à une quelconque théorie de la communication.
- Par contre, il est utile de se référer au contexte politique en Asie et à la culture japonaise (en ce compris le code de conduite et la mythologie) afin de mieux appréhender l'approche typiquement japonaise de la conception et de la mise en œuvre du programme de la JAXA.

² JAXA: Japan Aerospace Exploration Agency (agence aérospatiale d'exploration japonaise), ou en japonais : uchū kōkū kenkyū kaihatsu kikō (宇宙航空研究開発機構) se traduisant par « agence spatiale japonaise ».

2. Démarche méthodologique

2.1 Approche adoptée

L'approche adoptée est avant tout interdisciplinaire.

- L'approche est scientifique -sans être technique- car il faut pouvoir définir au sein du programme spatial de la JAXA ce qui est innovant et ce qui ne l'est pas, de même pour la mise en œuvre de ce programme (des solutions innovantes ont parfois dû être trouvées dans le cadre de missions qui n'étaient au départ pas innovantes en soi) ;
- S'agissant d'un mémoire en langues et lettres anciennes, orientation orientales, il s'agit de mettre aussi en avant l'influence de l'histoire, de la mythologie et de la culture japonaise dans la composition et la mise en œuvre du programme spatial nippon ;
- Nul ne peut ignorer l'aspect politique de la conception d'un programme spatial, il importe de remettre le programme de la JAXA dans son contexte géopolitique afin de mieux le comprendre. L'analyse du programme spatial japonais, des missions réalisées et à venir permet de mieux appréhender le rôle du Japon dans un contexte de coopération internationale pacifique (sachant qu'il collabore déjà dans le cadre de la station spatiale internationale) ;
- La recherche de données budgétaires au cours du temps permet de voir l'évolution des budgets spatiaux du Japon afin de savoir si les activités spatiales ne grèvent pas l'économie du pays et si les budgets permettent ou non une recherche d'innovation dans tous les secteurs du programme spatial. Les budgets peuvent aussi être comparés à ceux des autres puissances spatiales en général et des autres puissances spatiales asiatiques en particulier, afin de mettre en perspective le poids de la JAXA dans le contexte international ;
- L'approche est également sociale et économique, car il s'agit de déterminer pour le peuple japonais et pour l'économie du pays ce que le pays retire de cette quête d'innovation ;
- L'approche est également juridique, car un programme spatial doit respecter le droit international (e.g. les traités de l'espace) et éthique car la question de savoir si l'exploitation des ressources minières des astéroïdes est moralement acceptable ou non, mérite à tout le moins d'être posée.

2.2 Les sources

Le travail se base sur des recherches bibliographiques portant tant sur les missions spatiales japonaises que sur la culture japonaise sans oublier la place du Japon dans l'histoire de l'astronomie.

Je me suis aussi basé sur des conférences liées aux recherches dans le domaine spatial (la « Société astronomique de Liège » et l'« Air & Space Academy » de Toulouse), de nombreuses recherches documentaires web (site de la JAXA, de l'ESA³, de la NASA⁴, ...) vu l'absence de livres portant spécifiquement sur le programme spatial japonais (contrairement au programme spatial chinois), des articles de presse, des cours (principalement de l'Université de Liège et de la KUL), ainsi que des interviews.

Le cours de langue japonaise ne m'a pas permis de traduire de textes de la JAXA, je me suis donc basé sur la version anglaise de ces textes. Cependant, d'autres cours liés à la culture japonaise furent très utiles : « individu et communauté au Japon », « initiation à la littérature japonaise », « les religions du Japon : shintoïsme et bouddhisme », « pensée et croyances en Asie orientale », « dynamiques socioculturelles de l'Asie orientale ». Ces cours liés à la culture nipponne permettent ainsi de comprendre, par exemple, le *Mea Culpa* public de la JAXA après l'échec de la mission *Hitomi*, démarche impensable au sein de n'importe quelle autre agence spatiale, donc dans une autre culture. Mon livre de chevet concernant l'étude de la culture japonaise fut « Le chrysanthème et le sabre » de Madame Ruth BENEDICT⁵.

Pour les sources détaillées je vous renvoie à l'annexe 8 intitulée « Sources ».

Le présent travail a suivi les règles typographiques décrites dans le cadre du lexique des règles typographiques en usage à l'imprimerie nationale (française)⁶.

Dans ce travail, les règles de transcription de termes japonais en *rōmaji*⁷ (« romanisation » par l'alphabet latin permettant la lecture des mots japonais par les Occidentaux) sont celles

³ ESA : European Space Agency.(agence spatiale européenne). Source : ESA (European Space Agency), disponible à l'adresse suivante : <http://www.Esa.int/Esa> (consultée le 15 avril 2014).

⁴ NASA: National Aeronautics and Space Administration (agence spatiale américaine). Source : NASA (National Aeronautics and Space Administration), disponible à l'adresse suivante : <http://www.nasa.gov/> (consultée le 15 avril 2014).

⁵ BENEDICT Ruth, *Le Chrysanthème et le sabre*, Editions Philippe Picquier, 19 mai 1998, 351 p.

⁶ Imprimerie nationale, *Lexique des règles typographiques en usage à l'imprimerie nationale*, 6^{ème} édition, 2002, 196 p.

du système Hepburn⁸. Un lexique des termes japonais utilisés figure au chapitre 10, ce lexique se réfère au dictionnaire jisho.org⁹ pour le choix des *kanji*¹⁰ et *kana* présentés.

⁷ Le terme *rōmaji* (ローマ字) ou littéralement « caractères romains » désigne les caractères de l'alphabet latin utilisés dans le cadre de l'écriture japonaise. Ils se surajoutent aux trois systèmes graphiques initiaux du japonais : les kanjis, les hiraganas et les katakanas. L'écriture en *rōmaji* facilite le début de l'apprentissage de la langue japonaise mais ne dispense en rien de l'étude des *kanjis* (caractères phono-sémantiques empruntés à la Chine puis adaptés au niveau sonore voire même dans certains cas créés par le Japon) et des deux syllabaires japonais (*hiragana* et *katakana*). Source : HASHI, « How can Romaji ruin your day ? - Maybe you should just learn actual Japanese », Tofugu.com, 21/06/2012, disponible à l'adresse suivante : <https://www.tofugu.com/japanese/romaji/> (consultée le 5 mars 2019).

⁸ La méthode Hepburn est une méthode -parmi d'autres- de romanisation du japonais. Cependant cette méthode est celle reconnue officiellement par le gouvernement japonais. Elle a été introduite par le missionnaire américain James Curtis Hepburn, en 1887. Elle repose sur une retranscription phonétique de la langue japonaise. Sources : « Dictionnaire sensAgent », le Parisien.fr, disponible à l'adresse suivante : <http://dictionnaire.sensagent.leparisien.fr/M%C3%A9thode%20Hepburn/fr-fr/> (consultée le 5 mars 2019) / « Système de translittération Hepburn », translittération, disponible à l'adresse suivante : <https://www.translitteration.com/translitteration/fr/japonais/hepburn/> (consultée le 5 mars 2019) / HASHI, « How can Romaji ruin your day ? - Maybe you should just learn actual Japanese », Tofugu.com, 21/06/2012, disponible à l'adresse suivante : <https://www.tofugu.com/japanese/romaji/> (consultée le 5 mars 2019).

⁹ Source : « Dictionnaire jisho », disponible à l'adresse suivante : <https://jisho.org/> (consultée le 14 mars 2019).

¹⁰ *Kanji* (漢字、かんじ) signifie « caractère chinois ». Les *kanjis* sont présentés sous forme de pictogramme, d'idéogramme ou d'idéogramme composé (avec un autre *kanji* ou un *kana* dans ce cas de figure). *Kana* (仮名、かな) signifie « syllabaire japonais ». Il en existe deux : le *hiragana* (平仮名、ひらがな) et le *katakana* (片仮名、カタカナ). Le *hiragana* est un syllabaire cursif utilisé pour les mots typiquement japonais tandis que le *katakana* est un syllabaire angulaire utilisé principalement pour les mots empruntés aux langues étrangères ou bien alors utilisés dans le domaine scientifique. Sources : *Ibid.* / Cours Uliège « Langue Japonaise I (niveau débutant) » - Mr Andreas Thele (2018-2019) : <https://www.programmes.uliege.be/cocoon/20182019/cours/ASIE0012-2.html>. Les *kana* ont été créés entre le 7^{ème} et le 9^{ème} siècle. Leur utilisation était laissée initialement aux femmes, leur donnant ainsi la possibilité de les développer et d'exceller dans les domaines tels que la poésie (considérée comme un moyen esthétique de communiquer) et la littérature, forgeant ainsi la base de l'écriture mélangée des *kanji* et des *kana*. Ce n'est donc pas un hasard si le *hiragana* fut aussi nommé *onna no te* (女の手、おんなの手) signifiant littéralement « main de femme » ou plus précisément « écriture de femme ». Le *katakana* quant à lui était davantage utilisé par les moines bouddhistes. Source : THELE Andreas, « Les pièges du monde japonais : splendeurs et misères de la communication au Soleil levant » pp. 132-134 in SERVAIS Paul, « La traduction entre Orient et Occident - Modalités, difficultés et enjeux », éditions Academia, janvier 2012, 172 p., disponible à l'adresse suivante : <https://orbi.uliege.be/handle/2268/224795> (consultée le 21 juin 2019). Vu le degré de complexité du système d'écriture peu enclin à la précision de la langue japonaise, certaines organisations pour la modification de la langue ont plaidé pour la disparition des *kanji* au profit des *kana* (en 1883) ou au profit du *rōmaji* (en 1885). Déjà à l'époque féodale, en 1866 un *memorandum* destiné à abolir les *Kanji* vit le jour. De manière à assimiler les connaissances (surtout scientifiques) de l'Occident et vu le manque de termes techniques dans la langue japonaise, le ministre de l'éducation nationale (Arinori MORI) proposa en 1885, le remplacement du japonais par l'anglais comme langue nationale. En 1946, l'écrivain japonais Shiga NAOYA proposa même le français, comme langue nationale. Sources : *Ibid.* pp. 137-139 / Pour ce qui concerne le remplacement du japonais par des langues occidentales, voir également KAWASAKI Ken, « The Concepts of Science in Japanese and Western Education », Kochi University, Science & Education Vol.5 No.1, 1996, p. 21, disponible à l'adresse suivante : <https://core.ac.uk/download/pdf/70351579.pdf> (consultée le 5 octobre 2019). Dans le texte qui suit, je paraphrase Madame Françoise LAUWAERT, professeure à l'université libre de Bruxelles et spécialiste de la langue chinoise. De par l'effet de contraste sémantique mais aussi esthétique que produisent les caractères chinois *hanzi* 漢字 (appelés *kanji* en japonais) mêlés aux syllabaires japonais (*kana*), la japonologue Jacqueline Pigeot recourt à la notion de « puissance expressive ». Celle-ci résulte du contraste entre d'une part, le fait que « chaque caractère (*kanji*) possède une physionomie unique », -c'est d'ailleurs précisément la définition du logogramme (un terme de linguistique décrivant un symbole écrit unique ayant un sens et permettant de résumer un mot complet)- et d'autre part, le fait que l'écriture phonétique utilise un nombre limité de signes (*kana*) reproductibles à l'infini. Le mélange d'une écriture phonétique (*kana*) et de logogrammes (*kanji*), constitue assurément l'originalité de l'écriture japonaise. Source : LAUWAERT Françoise, *Puissance et pouvoir de l'écriture chinoise*, Editions Académie royale de Belgique, Avril 2015, p. 59. Dans le texte suivant, je paraphrase à nouveau Madame Françoise LAUWAERT. Contrairement à ce qui se produit pour une écriture alphabétique ou syllabique, où la maîtrise du code s'acquiert « en une fois », un illettré, un enfant ou un étranger débutant dans l'apprentissage du chinois (c'est aussi valable pour le japonais) peut reconnaître des caractères (en plus ou moins grand nombre) sans pour autant être capable de lire un texte, et encore moins de l'écrire. Même chez les plus brillants érudits, il reste une part d'illettrisme. En effet, l'apprentissage des caractères (*kanji*) nécessite de longues années et peut s'apparenter à une tâche sans fin. Source : *Ibid.* p. 55.

2.3 Les limites au présent travail

Etant donné que le programme spatial japonais n'est pas innovant dans tous les domaines - ce mémoire le démontrera- (une recherche préalable au présent travail m'a permis de le savoir), le champ de ce travail est dès lors limité aux thèmes suivants : la vision en rayons X, la vision en infra-rouge, la gestion des débris spatiaux, ainsi que certaines missions spécifiques (missions vers Vénus, les comètes et astéroïdes).

Ce mémoire ne s'inscrit pas dans une démarche comparative -en termes d'innovation- avec chacune des autres puissances spatiales. Même s'il a été nécessaire de vérifier que le caractère innovant de certaines missions spatiales relève exclusivement de la JAXA, le présent mémoire ne présentera pas le contenu des programmes spatiaux et missions spatiales des autres agences spatiales, car il eût fallu bien plus qu'une centaine de pages pour mener à bien cet exercice.

Ce mémoire n'est pas non plus un travail portant sur la manière dont le sens du devoir japonais s'illustre dans divers secteurs innovants dont le spatial ne serait qu'un exemple parmi d'autres. Même si l'étude du comportement japonais dans le cadre des devoirs moraux est fort intéressante (ce sujet est détaillé dans l'annexe 8), le champ d'étude reste bien l'innovation dans le secteur spatial.

3. La stratégie spatiale japonaise

3.1 La stratégie spatiale au travers des objectifs du programme spatial de la JAXA

3.1.1 Le contexte géopolitique

- Le Japon reste politiquement isolé sur la scène internationale tant qu'il a des litiges avec ses voisins (Chine, Russie, Corée du Nord, Corée du Sud). Quelques exemples figurent ci-dessous :
 - Litige avec la Chine et Taiwan concernant les îles Senkaku/Diaoyu/Tiaoyutai ¹¹ (îles utiles au Japon -de par leur position

¹¹ Nom des îles en japonais, chinois et taiwanais. *Senkaku-shotō* (尖閣諸島), *Senkaku-guntō* (尖閣群島), *Senkaku-rettō* (尖閣列島) désignent en japonais les îles Senkaku.

stratégique- pour sécuriser ses approvisionnements¹², mais aussi pour des raisons économiques : c'est une zone de pêche qui de plus recouvre des gisements de gaz découverts fin 1970) ;

- Litige avec la Chine, Taiwan et la Corée du Sud concernant le récif coralien d'Okinotorishima au sujet de la zone économique exclusive japonaise au motif qu'il ne s'agit pas d'une île selon la Convention onusienne sur le droit de la mer et que dès lors cette zone économique exclusive n'a pas lieu d'être¹³. Ce litige est d'abord d'ordre économique ;
- Litige avec la Russie concernant les îles Sakhalines, ce à quoi il faut ajouter l'absence de traité de paix. La Russie use de la menace du robinet énergétique ;
- Litige avec la Corée du Sud concernant l'île Takeshima/Dokdo¹⁴ sous souveraineté sud-coréenne et revendiquée par le Japon (les richesses sous-marines intéressent les deux pays). La Corée du Sud exige une repentance sincère japonaise pour les exactions commises sur son territoire (en particulier le rôle des « femmes de réconfort » réduites en esclavage sexuel par l'armée japonaise pendant la seconde guerre mondiale) et des dédommagements financiers.
- Litige avec la Corée du Nord au vu des lancements de missiles de cette dernière survolant le territoire nippon¹⁵ sans compter le kidnapping de ressortissants japonais par la Corée du Nord¹⁶, toujours détenus par cette dernière.
- Les visites répétées des 1^{ers} ministres japonais au sanctuaire patriotique de *Yasukuni* de Tokyo où sont honorés les soldats japonais -dont aussi 14 criminels

¹² 90% du commerce mondial se déroule par voie maritime, ceci est évidemment valable pour le Japon mais est d'autant plus vrai de par la situation géographique insulaire du pays, lequel veut légitimement contrôler les îles qui l'entourent directement. La Chine a d'ailleurs la même stratégie de sécurisation d'accès aux ressources énergétiques et minérales dans la même région (*South China Sea*), ceci explique les revendications territoriales des deux pays.

¹³ Nom de l'île en japonais : *Okinotori-shima* (沖ノ鳥島、おきのとりしま) signifiant « qui ressemble à une voile » tiré de l'espagnol *Parece Vela*. Source : PELLETIER Philippe, *La fascination du Japon - idées reçues sur l'archipel japonais*, 3^{ème} édition, Le Cavalier Bleu, août 2018, p. 283.

¹⁴ *Dokdo* en coréen et *Takeshima* (多景島、たけしま) en japonais signifient tous deux « caillou flottant ».

¹⁵ Le 31 août 1998 la Corée du Nord annonce avoir réussi à mettre en orbite son premier satellite. La trajectoire du lanceur, dérivé d'un missile balistique *Taepodong-1*, survola le nord du Japon et prouva que le pays devint désormais à portée d'un tir militaire balistique provenant de la Corée du Nord. Le Japon a à nouveau été survolé par un missile nord-coréen peu avant le test nucléaire de 2009.

¹⁶ Source : « The Fifteenth Japan-ASEAN Summit 2012 », Ministry of Foreign Affairs of Japan, 19 November 2012, disponible à l'adresse suivante : https://www.mofa.go.jp/region/asia-paci/asean/j_asean_mpm.html (consultée le 23 juillet 2018).

de guerre sur les 25 condamnés lors du tribunal de Tokyo en 1948- pose problème aux pays ayant souffert du Japon pendant la seconde guerre mondiale¹⁷ (en particulier la Chine et la Corée du sud). Lorsque l'on fait remarquer aux ministres que ce qu'ils font est anticonstitutionnel (puisque l'article 20 de la Constitution leur interdit toute « activité religieuse ou toute autre activité de cette nature »), ils rétorquent qu'ils visitent le sanctuaire à titre personnel. Ceci n'améliore pas les relations avec les pays voisins.

- Que faire alors dans ce contexte ?
 - Le Japon tente alors de redorer son blason auprès des étrangers via son *soft power*¹⁸ (en arguant de sa culture populaire¹⁹ et de ses technologies parmi lesquelles les technologies spatiales), quitte à le compléter par son *hard power* le cas échéant (forces armées, puissance économique) afin d'aider le pays à prendre sa place dans le concert des nations. Le *soft power* permet ainsi au Japon de satisfaire son ego et sa soif de reconnaissance extérieure sans défier l'allié américain ni ressusciter le spectre de son passé colonialiste. Le Japon veut avoir un rang politique au niveau international lié à sa force économique.
 - Cependant tous les partisans du *soft power* ne partagent pas la même vision des choses :
 - Les gens les plus politiquement à gauche veulent profiter du *soft power* pour diffuser un message de paix, leur but n'est pas d'avoir des « fans du Japon » mais que les valeurs nippones s'exportent (respect, courage, innovation, ordre et paix²⁰) ;

¹⁷ Source : POUPEE Karyn, *Les Japonais*, Collection Texto, Editions Tallandier, 2012, p. 605 / ODAIRA Namihei, « Politique : la menace fantôme », Zoom Japon n°67, février 2017, p. 9 / ULiège : « Introduction aux religions du Japon : shintoïsme et bouddhisme » - Mme Edith Culot (2018-2019) : <https://www.programmes.uliege.be/cocoon/cours/ASIE0009-1.html>.

¹⁸ Dit simplement: le pouvoir d'influence (*soft power*) est un instrument de puissance plus efficace que la contrainte. J.S. NYE, auteur de la théorie du *soft power* définit la puissance comme la capacité d'obtenir un résultat donné et si possible d'altérer dans ce sens le comportement des autres. Source : BONIFACE Pascal, La géopolitique, éditions Eyrolles Pratique, Octobre 2014, p. 145. Une grande puissance combine *soft power* (capacité d'influence basée sur l'image issue de la langue, la culture, ...) et *hard power* (puissance militaire et économique), c'est le concept de *smart power*. *Ibid.* p. 147.

¹⁹ Le *soft power* nippon comprend ainsi les manga, les jeux vidéo, les animations, la musique pop, la gastronomie, les robots, le cinéma, le design, la mode, les technologies, Ils ont pour mission de faire résonner la voix du Japon d'abord en Asie puis dans le monde.

²⁰ Source : POUPEE Karyn, *Les Japonais*, Collection Texto, Editions Tallandier, 2012, p. 645.

- Les gens les plus politiquement à droite veulent contrer les mouvements antijaponais afin d’asseoir la suprématie du Japon en Asie. C’est une sorte de *soft power* à vocation plus offensive.
- Les recherches spatiales militaires s’inscrivent sans surprise dans la politique japonaise globale visant à :
 - garantir au pays ses approvisionnements alimentaires et énergétiques ;
 - résister aux pressions extérieures afin de garantir sa souveraineté et ;
 - se poser comme leader en Asie, tout en veillant à ne pas froisser Washington²¹.

La stratégie spatiale militaire du Japon est examinée plus en détail dans la section 3.1.4 .

3.1.2 Le Plan de Base de la Politique Spatiale de 2013

Le Plan de base de la Politique Spatiale de 2013 porte déjà en lui-même les germes de l’aspect innovant du programme spatial nippon. Il suffit de penser à la gestion des déchets dans l’espace ou la la gestion de l’énergie solaire depuis l’espace afin d’alimenter la terre en électricité.

Le plan de base ou le « Livre blanc » de 2013²² définit pour 5 ans la politique spatiale et les axes sur lesquels elle s’appuie. Ce « livre blanc » est établi par le gouvernement japonais, il concerne différents ministères ainsi que la JAXA.

La politique spatiale consiste en deux points :

- Etendre l’utilisation de l’espace ;
- Assurer l’autonomie de la JAXA.

La JAXA s’appuie sur six axes pour atteindre ce but :

- L’usage pacifique de l’espace ;

²¹ Source : *Ibid.* p. 600.

²² Source : « Basic Plan of Space Policy », JAXA, 25/06/2013, disponible à l’adresse suivante : <http://www8.cao.go.jp/space/plan/plan-eng.pdf> (consultée le 29/06/2018).

- L'amélioration de la vie des gens ;
- Le développement de l'industrie ;
- La prospérité de la race humaine ;
- La promotion de la coopération internationale ;
- Le respect de l'environnement.

Comment atteindre ce but ? Par quatre technologies et trois sous-programmes spatiaux.

Les quatre technologies sont les suivantes :

- Les satellites de géolocalisation (ex : GPS) requérant un système de positionnement de multiples satellites (une « constellation » de satellites) ;
- Les satellites de télédétection (ex : observation de la terre) -en promouvant le partenariat avec le secteur privé dans le cadre de la prévention des catastrophes naturelles dans la région ASEAN²³ et en définissant un standard en termes de règles de partage de données- ;
- Les satellites de communication -dans le but de maintenir les communications opérationnelles en cas de tremblements de terre ou autres catastrophes naturelles- ;
- Les lanceurs -il s'agit de disposer de fusées de lancement capables d'envoyer des satellites dans l'espace de manière autonome-.

Les trois sous-programmes spatiaux sont :

- L'exploration spatiale et la science spatiale (en soutenant en particulier la science physique et le domaine aéronautique) ;
- L'activité spatiale humaine (en participant aux activités de la Station Spatiale Internationale -nommée ISS-, mais en y réduisant les coûts dans un souci d'efficacité) ;
- La recherche sur les systèmes d'énergie solaire dans et depuis l'espace (la recherche de futures sources énergétiques potentielles comme la transmission d'énergie

²³ Les membres de l'ASEAN (*Association of Southeast Asian Nations*) sont : la Thaïlande, l'Indonésie, la Malaisie, le Vietnam, Singapour, Les Philippines, le Myanmar (l'ex-Birmanie), le Cambodge, le Laos et Brunei.

électrique en provenance du soleil depuis l'espace vers la Terre sous forme de laser ou de micro-ondes²⁴).

Par quelles méthodes interdisciplinaires atteindre ces buts ?

- Mettre en place une capacité industrielle suffisante et développer des activités de recherches et de développement ;
- Le renforcement de la sécurité nationale par l'utilisation de l'espace (en ce compris la diplomatie spatiale²⁵) ;
- L'utilisation de l'infrastructure spatiale japonaise au profit de pays alliés (on pense évidemment aux États-Unis) ;
- La promotion des ressources humaines (en ce compris la formation) utiles aux activités spatiales ;
- Le renforcement de la collecte d'informations et de leur analyse ;
- Le respect de l'environnement en ce compris le développement durable dans l'espace (ce qui inclut la gestion des déchets dans l'espace) ;
- La contribution au développement d'une législation spatiale.

En conclusion, la politique spatiale en janvier 2013 fait la part belle aux satellites de navigation et aux satellites de reconnaissance²⁶ (en ce compris à des fins militaires).

Le budget alloué au ministère de la Défense augmente : les activités concernées sont d'une part la composante spatiale du système de défense anti-missiles en collaboration avec les États-Unis, et d'autre part les activités de recherche sur les satellites d'écoute électronique et d'alerte précoce. En outre l'administration centrale du Cabinet (*Cabinet Central*

²⁴ En anglais SSPS pour *Space Solar Power System* (système de gestion de l'énergie solaire depuis l'espace extra-atmosphérique).

²⁵ Ainsi la JAXA est membre du COPUOS (*Committee on the Peaceful Uses of Outer Space*, le Comité pour l'utilisation pacifique de l'espace est une émanation de l'Organisation des Nations unies). En outre le Japon est le seul pays asiatique à avoir une coopération internationale permanente dans le cadre de son partenariat au sein de l'ISS. De plus le Japon met à la disposition de l'ASEAN ses ressources spatiales dans le cadre de la prévention des désastres naturels. Enfin le Japon collabore à un code de conduite des activités spatiales (*International Code of Conduct for Outer Space Activities*) et coopère dans le cadre de PAROS (*Prevention of an Arms Race in Outer Space*). PAROS est un comité *ad-hoc* pour la prévention d'une course aux armements dans l'espace extra-atmosphérique, à la Conférence des Nations unies sur le désarmement. Pour rappel il ne faut pas confondre militarisation et arsenalisation de l'espace, la première est à des fins défensives, la seconde à des fins offensives. PAROS a pour but d'interdire l'arsenalisation de l'espace. Sources : Basic Plan of Space Policy, JAXA, 25/06/2013, p. 34, disponible à l'adresse suivante : <http://www8.cao.go.jp/space/plan/plan-eng.pdf> (consultée le 29 juin 2018) / « Prevention of an Arms Race in Outer Space », United Nations, 10 December 1996, disponible à l'adresse suivante: <http://www.un.org/documents/ga/res/51/a51r044.htm> (consultée le 15 avril 2014) / LEFEBRE Jean-Luc, *Stratégie spatiale. Penser la guerre des étoiles*, une vision française, éd. Esprit du livre, 30 juin 2011, p. 159.

²⁶ Source : ALIBERTI Marco, *When China goes to the Moon*, ESPI (European Space Policy Institute), « Studies in Space Policy » collection, Springer International Publishing AG editions, July 2015, p. 329.

Administration, elle dépend des services du Premier ministre japonais) reçoit un budget pour développer un système de gestion des catastrophes nationales reposant sur l'utilisation de satellites.

3.1.3 Le contexte juridique

Le Japon ne cherche pas à n'être qu'un simple partenaire de second rang pour les États-Unis, sa doctrine de pacifisme proactif dans le cadre d'une stratégie d'autodéfense collective avec son partenaire américain renforce son alliance politique avec ce dernier. Cela se traduit dans le secteur spatial par l'utilisation des technologies japonaises d'avant-garde au profit de leur alliance.

Le Japon a tout intérêt à promouvoir une utilisation pacifique de l'espace extra-atmosphérique en accord avec ses propres préoccupations économiques, scientifiques et sécuritaires²⁷.

Au niveau économique, le Japon tout comme son partenaire américain ne renonce pas à l'exploitation des ressources énergétiques dans l'espace extra-atmosphérique (le traité sur la Lune et les corps célestes de 1979 n'a dès lors pas été signé par ces deux pays), il encourage au contraire le secteur privé à tirer avantage de cette « opportunité » en termes de *business* même si cela soulève de nombreuses questions au niveau éthique.

La présente section retrace les textes juridiques principaux applicables à la JAXA et/ou au Japon. Le pays, au vu du contexte géopolitique, s'est doté d'un véritable arsenal juridique.

- La JAXA a été fondée par la loi de 2002²⁸. La JAXA résulte de la fusion de trois organismes : l'ISAS (*Institute of Space and Astronautical Science* créé en 1964) chargée des missions scientifiques, la NASDA (*National Space Development Agency of Japan* créée en 1969) en charge des lanceurs à ergols liquides et des satellites d'application, ainsi que le NAL (*National Aeronautic Laboratory* créé en 1955), organisme consacré à la

²⁷ Ainsi par exemple face à l'impossibilité de mettre en avant une diplomatie coercitive face à la menace nucléaire de la Corée du Nord, le programme spatial japonais doit pouvoir être utilisé militairement le cas échéant. Source : COURMONT Barthélémy, *Géopolitique du Japon: Une puissance inquiète*, Editions Argos, 5 juillet 2013, p. 101.

²⁸ Source : Loi créant la JAXA (Law concerning Japan aerospace exploration agency - Law nr 161 of 13th December 2002), disponible à l'adresse suivante : http://global.jaxa.jp/about/law/law_e.pdf (consultée le 29 juin 2018).

recherche aéronautique. Les buts de la JAXA sont de développer la recherche académique²⁹, développer les connaissances en science spatiale (*space science*) ainsi que les technologies spatiales (*space engineering*), et enfin de promouvoir l'utilisation de l'espace à des fins pacifiques³⁰. Le quartier général (QG) de l'agence est basé à Tokyo³¹. Cette loi est en parfaite conformité avec le droit international³² puisqu'elle prévoit en son article 21 l'obligation de conclure des contrats d'assurance afin de couvrir les dommages potentiellement causés suite au lancement de satellites. L'article 24 de la loi prévoit le respect des traités internationaux en matière spatiale. La JAXA dépend administrativement du ministère de l'Éducation, de la Culture, des Sports, des Sciences et de la Technologie (*Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology*) dénommé « MEXT »³³. Pour ce qui concerne le développement et le lancement de satellites³⁴, la loi mentionne la coresponsabilité du « MEXT » et du ministère de la gestion publique, des Affaires intérieures, des postes et des Communications (*Ministry of Public Management, Home Affairs, Posts and Telecommunications*) dénommé « MPHPT ».

- Le pays s'est doté d'une loi spatiale en 2008³⁵. La loi fondamentale de l'espace est fondée (*dixit* son article 1) sur une utilisation pacifique de l'espace en accord avec la Constitution japonaise. Cependant, dans les faits, elle permet au pays une utilisation militaire de l'espace tant qu'elle demeure non agressive (la loi mentionne d'ailleurs explicitement dans son article 14 (1) le renforcement de la sécurité internationale via les

²⁹ En vertu de l'article 20 de la loi, les objectifs à moyen terme en matière de recherche sont définis par le ministère de l'éducation, de la culture, des sports, de la science et de la technologie dénommé « MEXT » (*Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology*). De plus l'autonomie des chercheurs est garantie par ce même article. Source : *Ibid.*

³⁰ Articles 2 et 18 de la loi. Source : *Ibid.*

³¹ Le QG est établi à Tokyo en vertu de l'article 5. Les employés de la JAXA ont d'ailleurs le statut d'agent de l'État, c.-à-d. de fonctionnaire en vertu de l'article 17 de la loi. Leur obligation de confidentialité s'étend même lorsqu'ils sont à la retraite (article 30 de la loi). Source : *Ibid.*

³² En particulier la Convention du 1/09/1972 sur la responsabilité internationale pour les dommages causés par des objets spatiaux. L'article 2 mentionne le texte suivant : « Un État de lancement a la responsabilité absolue de verser réparation pour le dommage causé par son objet spatial à la surface de la Terre ou aux aéronefs en vol » Source : « Traités et principes des Nations unies relatifs à l'espace extra-atmosphérique - Traité sur les principes régissant les activités des États en matière d'exploration et d'utilisation de l'espace extra-atmosphérique, y compris la Lune et les autres corps célestes », Nations unies, New York, 2002, disponible à l'adresse suivante : <http://www.unoosa.org/pdf/publications/STSPACE11F.pdf> (consultée le 15 novembre 2014).

³³ Article 26 de la loi. Source : *Ibid.*

³⁴ Article 26 de la loi. Source : *Ibid.*

³⁵ Sources : KOMIZO Yasuyoshi, Loi spatiale japonaise de 2008, UNOOSA, disponible aux adresses suivantes : <http://www.unoosa.org/pdf/pres/lsc2009/pres-09.pdf> et <http://stage.tksc.jaxa.jp/spacelaw/country/japan/27A-1-E.pdf> (consultées le 13 juillet 2018).

technologies japonaises mais aussi (2) la sécurité nationale du Japon³⁶). La loi autorise la création d'une « force spatiale » en charge du monitoring des débris spatiaux proches de la Terre, de la protection des satellites contre des collisions ou des attaques externes. De plus cette loi avait également pour vocation de promouvoir l'utilisation commerciale de l'espace (elle prévoyait à cet effet la promulgation d'une loi future et spécifique à ce sujet, ce qui eut lieu le 16 novembre 2016).

- Le statut de la JAXA a été modifié en 2012 afin de lui permettre de participer à des projets spatiaux à des fins militaires (fussent-elles défensives « dans le respect de l'esprit pacifique de la Constitution du pays » comme cela fut déjà formulé lors de la création de la loi de 2008³⁷). Ceci s'inscrit en outre dans la continuité du Plan de Base de la Sécurité spatiale de 2009 et du *white paper* du Ministère de la défense la même année³⁸.
- En 2013, le gouvernement japonais a défini la stratégie sécuritaire nationale³⁹ ou le Plan de Base de la Politique spatiale. Cela se traduit en 2014 par une stratégie spatiale soulignant la quantité croissante de débris orbitaux gérés par les essais antisatellites (c.-à-d. les armes contre-spatiales) et les collisions entre satellites. Il convenait donc de renforcer les capacités de collecte d'information, de surveillance et de communication à des fins militaires.
- Le Japon s'est doté d'une doctrine de « pacifisme proactif » via ses lois de sécurité nationales⁴⁰ de 2015 (entrées en vigueur en 2016) ; dès lors, l'utilisation militaire de

³⁶ Sources : Basic Plan of Space Policy, JAXA, 25/06/2013, p. 35, disponible à l'adresse suivante : <http://www8.cao.go.jp/space/plan/plan-eng.pdf> (consultée le 29/06/2018) / Lile Ajey, *Asian Space Race : Rethoric or Reality ?*, Springer editions, 2013, p. 194.

³⁷ Source : Lile Ajey, *Asian Space Race : Rethoric or Reality ?*, Springer editions, 2013, p. 194.

³⁸ Basée sur la loi spatiale de 2008, l'idée du renforcement de la sécurité nationale par le développement d'activités spatiales figurait déjà dans le Plan de Base de la Sécurité spatiale du 2 juin 2009. Le *white paper* du Ministère de la défense le 17 juillet 2009 identifie le besoin de développer des systèmes spatiaux destinés à des fins exclusivement militaires. Sources : Lile Ajey, *Asian Space Race : Rethoric or Reality ?*, Springer editions, 2013, p. 195 / « Annual White Paper - Defense of Japan 2009 », Ministry of Defense, disponible à l'adresse suivante : http://www.mod.go.jp/e/publ/w_paper/pdf/2009/20Part2_Chapter1_Sec4.pdf (consultée le 1^{er} novembre 2018).

³⁹ Voir le chapitre 3.1.1 ci-dessus. Source : Basic Plan of Space Policy, JAXA, 25/06/2013, disponible à l'adresse suivante : <http://www8.cao.go.jp/space/plan/plan-eng.pdf> (consultée le 29 juin 2018).

⁴⁰ L'article 9 de la Constitution japonaise, votée le 3 novembre 1946, sous l'occupation américaine, et entrée en vigueur le 3 mai 1947, postule que le Japon renonce à la guerre. Cet article initialement interprété comme une interdiction totale d'avoir une armée a été réinterprété depuis 1954 comme une interdiction des comportements offensifs, laissant au Japon le droit d'avoir des troupes exclusivement pour la défense du pays, malgré le contenu du même article qui mentionne clairement « qu'il ne sera jamais maintenu de forces terrestres, navales et aériennes, ou autre potentiel de guerre ». Les

l'espace s'insère dans une stratégie globale de défense autorisant par ces lois, des actions offensives le cas échéant dans le cadre d'une autodéfense collective (en alliance avec les États-Unis).

- Les nouvelles lois de sécurité en 2015 ont été un tournant dans la vision sécuritaire du pays, elles eurent la conséquence suivante : le Bureau de la politique spatiale nationale du Bureau du Cabinet (*National Space Policy Secretariat of Cabinet Office*), c.-à-d. le bureau du premier ministre proposait en 2015 une stratégie soulignant l'importance pour le pays de consolider son « architecture spatiale de sécurité nationale ». Vu le comportement alarmant de la Corée du Nord et des menaces sécuritaires chinoises près des îles Senkaku (un sous-marin d'attaque chinois s'y présentait à surface exhibant son drapeau en Janvier 2018⁴¹), cette stratégie spatiale sécuritaire japonaise n'est pas prête de changer. Le Bureau du Cabinet du Premier Ministre comporte un Ministre d'État spécialement en charge des affaires spatiales (*Minister of State for Space Policy*) : Tayuka HIRAI⁴².
- Dès 2011, le Japon et les États-Unis soulignaient l'importance de leur coopération dans le cadre de la protection du domaine spatial et de son accès. Par quelles mesures ?

deux lois japonaise du 18 septembre 2015 sur les Forces japonaises d'autodéfense (entrées en vigueur le 29 mars 2016) incluent une clause dite d'autodéfense collective, en vertu de laquelle les forces d'autodéfense peuvent intervenir (aussi à l'étranger) pour protéger un pays ami en difficulté dans un conflit, sans qu'il y ait une menace directe sur le territoire du Japon. Cette clause élargit ainsi l'interprétation de l'article 9 (en vertu duquel le pays renonce à la guerre comme moyen de résoudre les différends internationaux). On passe donc de « pas d'armée » en 1946 à « une force d'auto-défense à des fins défensives » en 1954. Puis en 2015 les lois réinterprétant l'article 9 autorisent l'offensive (donc en dehors du territoire national) dans des cas précis. Les lois de sécurité nationales forment en fait deux lois sous le nom générique de « lois sur la paix et la sécurité » (平和安全法制) : d'une part la loi sur la paix et la sécurité modifiant 10 lois existantes dont la loi sur les forces d'autodéfense, et d'autre part la loi sur le soutien international pour la paix.

⁴¹ Sources : « Le Japon s'arme contre la Chine » - Europe 1 le JDD.fr, 16/02/2018, disponible à l'adresse suivante : <http://www.lejdd.fr/international/asiel/le-japon-sarme-contre-la-chine-3572162> (consultée le 14 avril 2018) / LAGNEAU Laurent, « Le Japon proteste contre l'incursion d'un sous-marin nucléaire chinois près des îles Senkaku », Zone militaire, 16/01/2018, disponible à l'adresse suivante : <http://www.opex360.com/2018/01/16/japon-proteste-contre-lincursion-dun-marin-nucleaire-chinois-pres-iles-senkaku/> (consultée le 14 avril 2018) / ANKIT Panda, « Chinese frigate, unidentified submarine enter Japan-claimed waters near Senkaku islands », TheDiplomat.com, , 12/01/2018, disponible à l'adresse suivante : <https://thediplomat.com/2018/01/chinese-frigate-unidentified-submarine-enter-japan-claimed-waters-near-senkaku-islands/> (consultée le 14 avril 2018).

⁴² Le ministre a aussi en charge les affaires scientifiques et technologiques. Sources : « List of Ministers and State Ministers at the Cabinet Office », Cabinet Office, disponible à l'adresse suivante : <https://www.cao.go.jp/en/minister/index.html> (consultée le 22 mars 2019) / « The Cabinet's Office Role in the Cabinet », Cabinet Office, disponible à l'adresse suivante : https://www.cao.go.jp/en/pmf_index-e.html (consultée le 22 mars 2019).

- Par la connaissance de la situation spatiale, c.-à-d. le *Space Situational Awareness*⁴³ (SSA) via un système de navigation par satellites (la France y est associée via un accord concernant les aspects techniques du partage de l'information, accord signé avec le Japon depuis 2017) ;
 - Par la connaissance du domaine maritime depuis l'espace, c.-à-d. le *Space-based Maritime Domain Awareness* (MDA) via l'emploi de capteurs dans les océans.
- Le Japon et les États-Unis signaient un *Space Situational Awareness (SSA) Services and Information Agreement* le 28 mai 2013, puis en 2015 les deux pays renforçaient leurs directives de défense bilatérale soulignant l'importance de garantir l'utilisation, responsable, pacifique et sûre de l'espace⁴⁴.
 - Enfin pour des raisons principalement financières et juridiques⁴⁵, le 16 novembre 2016, le Japon promulgue une loi sur les activités spatiales (*Space Activity Act*) ouvrant au secteur privé les secteurs du lancement des fusées et de l'exploitation des satellites. Pour expliquer cette loi, un saut dans le passé et des explications juridiques s'imposent. En novembre 2015, les États-Unis ont adopté la loi sur la compétitivité des lancements spatiaux à des fins commerciales, qui autorise les citoyens américains à « s'approprier, posséder, transporter, utiliser et vendre » des ressources provenant d'astéroïdes ou de l'espace (l'eau y comprise). Or le Traité sur l'espace extra-atmosphérique stipule que ce dernier ne peut en aucun cas faire l'objet d'une appropriation nationale⁴⁶, et donc par

⁴³ Source : « Implementation Plan of the Basic Plan on Space Policy (revised FY2017) », Cabinet Office (Bureaux du premier ministre) , slide 46 (Space Situation Awareness), 25 April 2018, disponible à l'adresse suivante: <http://www8.cao.go.jp/space/english/basicplan/2017/basicplan.pdf> (consultée le 13 juillet 2018).

⁴⁴ Source : PEKKANEN Saadia (professeure à l'Université de Washington), *Le Japon, une puissance spatiale sous-estimée* in « Géopolitique de l'espace », Diplomatie, les grands dossiers n° 34, Août-Septembre 2016, p. 74.

⁴⁵ « Si des personnes sur Terre sont victimes de dégâts provoqués par une fusée ou un satellite appartenant à une entreprise d'un pays étranger, celui-ci, appelé « l'État lanceur », porte la responsabilité sans faute pour le préjudice, ce qui veut dire qu'il doit indemniser l'État victime même si l'entreprise relevant de sa juridiction a respecté les règles de sécurité censées éviter ce genre d'accident. Pour cette raison, les pays doivent se doter de normes strictes de supervision garantissant la sécurité de leurs lanceurs. Et pour qu'aucun contribuable ne soit lésé à la suite d'un accident, les États veillent en général à ce que l'entreprise responsable relevant de leur juridiction rembourse à l'État lanceur l'indemnité qu'il a versé à l'État victime conformément aux procédures internationales. D'où la nécessité d'intégrer des régimes d'assurance responsabilité civile obligatoire dans les législations nationales sur les activités spatiales ». Source : SETSUKO Aoki, « Le Japon adopte une nouvelle loi pour encourager l'expansion des activités spatiales », nippon.com, 12 juillet 2017, disponible à l'adresse suivante: <https://www.nippon.com/fr/currents/d00294/> (consultée le 4 juillet 2018).

⁴⁶ En droit international l'espace extra-atmosphérique est considéré comme *terra nullius/res nullius* tout comme l'Antarctique ou la haute mer hors zones territoriales c.-à-d. « territoire sans maître » et désigne un espace qui ne relève

extension non plus par des entreprises privées. En fait, le droit international n'apporte pas de réponse précise à la question du droit des entreprises à posséder, exploiter et vendre ces ressources. Comme ce flou juridique n'incite pas le secteur privé à investir, les États-Unis ont dès lors garanti la sécurité des activités menées par leurs ressortissants dans l'espace par une loi spécifique⁴⁷. Le Luxembourg, qui ambitionne de devenir le centre de l'activité minière spatiale, s'est doté d'une législation similaire⁴⁸.

pas d'un Etat, dès lors ce territoire n'appartient à personne. Il pourrait en théorie être exploité par le « premier arrivé ». C'est l'interprétation stricte qu'en fait le Japon. C'est pourquoi des traités internationaux spécifiques se sont empressés d'en interdire l'exploitation des ressources. Ainsi le traité de 1979 sur la Lune et les corps célestes (donc en ce compris les astéroïdes) précise que l'exploitation des ressources minières est interdite (sauf si elle devait se faire de manière coopérative à l'échelon international). Ce n'est donc pas un hasard si ni les États-Unis ni le Japon n'ont signé un tel traité. Le traité sur l'Antarctique interdit d'ailleurs aussi une telle exploitation pendant cinquante ans à compter du 14 janvier 1998 (Protocole de Madrid de 1991). Sources : « Traité sur l'Antarctique », Bureau des affaires du désarmement des Nations unies, site disponible à l'adresse suivante : <http://www.un.org/fr/disarmement/instruments/tant.shtml> (consultée le 15 novembre 2014) / « Le Protocole au Traité sur l'Antarctique relatif à la protection de l'environnement », Secrétariat du traité sur l'Antarctique, disponible à l'adresse suivante : <http://www.ats.aq/f/ep.htm> (consultée le 15 novembre 2014) / Cours ULg de « Droit international public » - Franklin Dehousse (2014-2015) / Le traité sur l'espace de 1967 interdit l'utilisation de bases militaires sur la Lune et interdit la revendication de toute forme de souveraineté nationale sur la Lune. Il considère que la Lune « appartient » à toutes les nations en tant que groupe, mais jamais à une seule d'entre elles. Le traité de 1967 insiste sur la non souveraineté des corps célestes, la Lune n'appartient dès lors à personne. Le traité s'applique aux États mais non aux sociétés privées. C'est un sujet préoccupant pour l'avenir puisque l'émergence de « space cowboys » revendiquant une propriété privée de « chantiers lunaires » n'est pas exclue. (cf cours ULg : « Exploration spatiale / Space exploration » - Mr Grégor Rauw (2014-2015) : <https://www.programmes.uliege.be/cocoon/cours/SPAT0035-1.html>) / Art 11 du traité de 1979 : « La Lune et ses ressources naturelles constituent le patrimoine commun de l'humanité. Ni la surface ni le sous-sol de la Lune, ni une partie quelconque de celle-ci ou les ressources naturelles qui s'y trouvent, ne peuvent devenir la propriété d'États, d'organisations internationales intergouvernementales ou non gouvernementales, d'organisations nationales ou d'entités gouvernementales, ou de personnes physiques. L'installation à la surface ou sous la surface de la Lune de personnel ou de véhicules, matériel, stations, installations ou équipements spatiaux, y compris d'ouvrages reliés à sa surface ou à son sous-sol, ne crée pas de droits de propriété sur la surface ou le sous-sol de la Lune ou sur une partie quelconque de celle-ci ». LISTNER Michael, « The Moon Treaty: failed international law or waiting in the shadows ? », The Space Review, 24 October 2011, disponible à l'adresse suivante : <http://www.thespacereview.com/article/1954/1> (consultée le 15 novembre 2014) / Accord régissant les activités des États sur la Lune et les autres corps célestes », New York, 5 décembre 1979, disponible à l'adresse suivante : https://treaties.un.org/pages/ViewDetails.aspx?src=TREATY&mtdsg_no=XXIV-2&chapter=24&lang=fr (consultée le 15 novembre 2014).

⁴⁷ Sources : Congress.gov, « U.S. Commercial Space Launch Competitiveness Act », 25 novembre 2015, disponible à l'adresse suivante : <https://www.congress.gov/bill/114th-congress/house-bill/2262> (consultée le 28 mars 2016) / Le Blog de la Résistance, « La loi américaine sur la propriété des ressources minières des astéroïdes promulguée par OBAMA », 26 novembre 2015, disponible à l'adresse suivante : <https://resistanceauthentique.wordpress.com/2015/11/26/la-loi-americaine-sur-la-propriete-des-ressources-minieres-des-asteroïdes-promulguee-par-obama/> (consultée le 28 mars 2016) / SEIBT Sébastien, « Espace : le Sénat américain vote l'autorisation d'exploiter les astéroïdes », France 24, 13 novembre 2015, disponible à l'adresse suivante : <http://www.france24.com/fr/20151112-espace-entreprise-americaine-asteroïde-economie-commerce-loi-senat> (consultée le 28 mars 2016) / MOTHERBOARD, « L'exploitation minière des astéroïdes est désormais légale pour les américains », 1^{er} décembre 2015, disponible à l'adresse suivante : <http://motherboard.vice.com/fr/read/les-etats-unis-autorisent-exploitation-des-astroïdes-pour-les-américains> (consultée le 28 mars 2016) / ODUNTAN Gbenga (University of Kent), « Who owns space? Looking at the US asteroid-mining act », The Register, 27 November 2015, disponible à l'adresse suivante : http://www.theregister.co.uk/2015/11/27/asteroid_mining_act/ (consultée le 28 mars 2016).

⁴⁸ Sources : GAZZANE Hayat, « Le projet fou du Luxembourg pour exploiter des mines dans l'espace », Le Figaro.fr, 5 février 2016, disponible à l'adresse suivante : <http://www.lefigaro.fr/conjoncture/2016/02/05/20002-20160205ARTFIG00086-le-projet-fou-du-luxembourg-d-exploitation-de-mines-dans-l-espace.php> (consultée le 28 mars 2016) / MCGRATH Meredith, « Small country, big Universe - Luxembourg aims for space business », Reuters, 3 February 2016, disponible à l'adresse suivante : <http://www.reuters.com/article/us-luxembourg-space-mining-idUSKCN0VC1T3> (consultée le 28 mars 2016) / ARON Jacob, «

Le Japon a adopté le comportement juridique des États-Unis et du Luxembourg, il dispose ainsi d'une législation comparable. Le journaliste Aoki SETSUKO résume ainsi la loi japonaise sur les activités spatiales du 16/11/2016 par les points suivants⁴⁹ :

- Un dispositif a été mis en place, il clarifie les choses pour entreprises engagées dans la production de fusées à petite échelle ou l'utilisation de satellites de télédétection, en désignant nommément les agences officielles auxquelles les demandes de licences doivent être soumises et en exposant clairement les conditions d'approbation et les procédures de supervision. La loi prévoit en outre une aide publique pour l'apport des garanties financières requises des opérateurs de lancements commerciaux dans l'espace, par exemple en leur proposant une couverture assurance responsabilité civile.
- En cas de dommages excédant cette couverture, la loi prévoit que l'État prenne en charge les dommages résiduels jusqu'à un certain plafond.
- La loi prévoit enfin que le lanceur porte la responsabilité pour les dommages dus à un accident, même dans le cas où celui-ci a été provoqué par un problème relevant de la charge utile. Cette attribution de responsabilité semble désavantageuse pour les lanceurs, mais elle est susceptible de renforcer la position concurrentielle des entreprises japonaises offrant ce service, dans la mesure où elle rassure les clients. La France est le seul pays à s'être doté d'une clause similaire.

La privatisation de l'espace est certes une opportunité en termes d'innovation, puisque le secteur privé peut procéder à des investissements importants, sécurisés par les diverses lois américaines, luxembourgeoises et maintenant japonaises. Ces lois garantissent ainsi la propriété des ressources extra-atmosphériques aux entreprises privées, malgré le fait que le droit de l'espace (droit international) s'applique en principe aux États et non aux particuliers. Toutefois, cette privatisation comporte également des risques. En effet, le droit spatial ne s'appliquant pas au secteur privé, ce dernier va-t-il respecter les règles Onusiennes concernant par exemple la protection des planètes en

Luxembourg's asteroid mining bid is Europe's first », The New Scientist, 3 February 2016, disponible à l'adresse suivante : <https://www.newscientist.com/article/2076253-luxembourgs-asteroid-mining-bid-is-europes-first/> (consultée le 28 mars 2016).

⁴⁹ Source : SETSUKO Aoki, « Le Japon adopte une nouvelle loi pour encourager l'expansion des activités spatiales », nippon.com, 12 juillet 2017, disponible à l'adresse suivante: <https://www.nippon.com/fr/currents/d00294/> (consultée le 4 juillet 2018).

évitant leur contamination ? Au nom du profit, des économies ne vont-elles pas se faire aux dépens de la sécurité ? Les entreprises vont-elles se comporter en « bon père de famille » ou vont-elles générer des débris spatiaux⁵⁰ et polluer davantage l'orbite basse autour de notre planète ? Selon Madame Arlène AMMAR-ISRAËL, la privatisation de l'espace -cela concerne désormais le Japon avec plus d'acuité- doit s'accompagner par la mise en place de contrôles *a priori* qui évitent ou limitent les risques ici évoqués⁵¹.

3.1.4 La stratégie spatiale militaire

La militarisation de l'espace (emploi de technologies duales à des fins non agressives) est une certitude depuis les orbites basses (renseignement⁵²), les orbites géostationnaires (télécoms, alerte avancée, météorologie) ou les orbites moyennes (systèmes de positionnement et de navigation des mobiles terrestres, maritimes et aériens). L'existence de l'arsenalisation de l'espace (envoi de moyens de combat -donc offensifs par nature- dans l'espace) est une question qui fait débat. Si l'arsenalisation relève davantage du mythe que de la réalité, la militarisation sans cesse croissante n'est pas sans représenter des dangers réels pour la garantie du fonctionnement de nos sociétés, ne fut-ce que par des conflits déclenchés dans l'espace « par erreur ». En effet, plus sont concentrés dans une même zone des moyens militaires de nations différentes (et surtout antagonistes), plus le risque de guerre s'accroît, un conflit dans l'espace pouvant dégénérer en un conflit sur Terre.

Le secteur spatial permet de développer le potentiel militaire du pays que ce soit via les satellites de navigation ou ceux de renseignement . Les satellites de navigation permettent d'assurer l'indépendance du pays pour le guidage des systèmes d'armes tandis que les

⁵⁰ Pour une description détaillée des problèmes générés par les déchets spatiaux, je renvoie le lecteur au chapitre 4.4.1. Pour la privatisation des activités cette fois liées à l'élimination des déchets spatiaux, via une société singapourienne en coopération avec la JAXA, je renvoie le lecteur au chapitre 4.4.6.

⁵¹ Source : AMMAR-ISRAËL Arlène et FELLOUS Jean-Louis, *L'exploration spatiale - au carrefour entre la science et la politique*, CNRS éditions 2011, p. 298.

⁵² Ainsi le Japon en janvier 2013 donne dans son Plan de base de la politique spatiale (« Basic Plan for Space Policy ») la priorité non seulement aux systèmes de satellites de navigation mais aussi de renseignement. Source : « When China goes to the Moon » - Marco Aliberti - ESPI (European Space Policy Institute), « Studies in Space Policy » collection - Springer International Publishing AG éditions - 15/07/2015, p. 329. Une constellation de satellites de renseignement serait en effet une réponse à la menace balistique nord-coréenne et aux actions chinoises dans la partie sud en mer de Chine. Source : Al-Ekabi Cenani, « Space Policies, Issues and Trends in 2014-2015 », [ESPI \(European Space Policy Institute\) Report 54](#), December 2015, p. 55.

satellites de renseignement (par la collecte d'information via diverses techniques d'observation) permettent de détecter le mouvement des armées et marines ennemies (en ce compris les sous-marins).

Le Japon a depuis 2014 une stratégie spatiale de défense collective visant à renforcer la coopération militaire avec les USA pour la protection des biens spatiaux via la surveillance spatiale (afin de lutter contre les destructions satellitaires causées par les tirs ASAT⁵³, contre les collisions satellitaires, et *in fine* contre les armes anti-spatiales).

Le document officiel définissant la stratégie de défense militaire japonaise fin décembre 2013 mentionne clairement le fait que l'espace extra-atmosphérique forme une composante de celle-ci⁵⁴. En effet l'espace est utilisé de par le monde à des fins sécuritaires (observation, surveillance, communication, géolocalisation), le Japon doit dès lors se prémunir des risques causés par les activités des États tiers. Le Japon, par analogie à la nécessité d'avoir des mers ouvertes et sûres, considère qu'il doit en être de même dans l'espace extra-atmosphérique. Le risque de création de débris spatiaux causé par les tirs d'armes antisatellites et/ou par les collisions de satellites s'accroît rendant l'espace de moins en moins accessible à la communauté internationale⁵⁵. Dès lors le Japon désire la rédaction d'un code de conduite international concernant l'utilisation de l'espace tant pour les aspects civils que militaires, interdisant formellement les tests d'armes antisatellites et mettant en œuvre des mesures contraignantes évitant les collisions entre satellites⁵⁶.

Ces constats sont d'ailleurs confirmés par le Ministère des affaires étrangères japonais, les risques dans l'espace extra-atmosphérique issus de l'activité humaine sont principalement de nature suivante : le risque de congestion dû à la présence de trop nombreux objets dans l'espace (et en particulier en orbite basse), le risque de dommages aux objets spatiaux et aux astronautes causés par les débris spatiaux (dus aux collisions entre satellites ou aux tirs

⁵³ En anglais ASAT pour *Anti-Satellite* (anti-satellite).

⁵⁴ Source : « National Security Strategy 2013 », Japanese Ministry of Defence, 17 December 2013 : http://japan.kantei.go.jp/96_abe/documents/2013/icsFiles/afieldfile/2013/12/17/NSS.pdf (consultée le 12 septembre 2018).

⁵⁵ Voir à ce sujet le chapitre 4, section 4.4.2.

⁵⁶ *International Code of Conduct for Outer Space Activities* en anglais.

expérimentaux par des armes antisatellites⁵⁷). C'est précisément sous le contrôle du Ministère des affaires étrangères qu'une division en charge de la politique spatiale⁵⁸ a été créée le 5 avril 2012 afin de faire adopter le code de conduite international dont mention ci-dessus, à savoir un code contraignant à tous les acteurs spatiaux. Cette division prend en charge les aspects diplomatiques liés à la stratégie spatiale nationale (c.-à-d. la mise en place d'une politique spatiale nationale -laquelle dépend de la politique de sécurité nationale-, la promotion de l'accès sûr à l'espace facilité par un code international, ainsi que la coopération internationale dans le domaine spatial en général).

Le Japon veut dès lors garantir le libre accès à l'espace afin de pouvoir l'utiliser à des fins sécuritaires défensives, à des fins scientifiques, commerciales et économiques. En outre, il développe seul l'état des lieux spatial (c.-à-d. la surveillance des activités dans l'espace), mais aussi en partenariat avec les États-Unis⁵⁹.

Pour ce qui concerne l'utilisation de l'espace à des fins défensives, le pays s'est donné les moyens nécessaires. Le statut de la JAXA a ainsi été modifié en 2012 afin de lui permettre de participer à des projets spatiaux à des fins militaires tels que (1) l'utilisation de satellites de géolocalisation existants (QZSS - *Quasi-Zenith Satellite System*) cette fois exploités à des fins militaires, ainsi que (2) la mise en place du SSA (*Space Situation Awareness*) c.-à-d. l'état des lieux spatial ou la surveillance spatiale⁶⁰.

La stratégie spatiale japonaise est clairement établie dans le livre blanc de 2018, lequel sans surprise, constate la menace accrue concernant l'utilisation sûre de l'espace exo-atmosphérique, suite à l'augmentation rapide des débris spatiaux d'une part mais aussi par le développement par la Chine et la Russie d'armes ASAT d'autre part (ces nations sont nommément citées). Le rapport insiste également sur la potentielle supériorité chinoise sur les États-Unis dans un futur proche en termes d'informations (commandement, contrôle, communication, informatique, renseignements, surveillance et reconnaissance) obtenues par des moyens spatiaux. En conséquence, le Ministère de la Défense a procédé au

⁵⁷ Source : « Ministry of Foreign Affairs of Japan - Outer Space », Japan's Space Diplomatic Policy, Ministry of Foreign Affairs of Japan, https://www.mofa.go.jp/policy/outer_space/pdfs/space_diplomatic_policy.pdf (consultée le 20 juillet 2018).

⁵⁸ Source : *Ibid.*

⁵⁹ Voir à ce sujet le chapitre 4, section 4.4.5.

⁶⁰ Source : « Ministry of Foreign Affairs of Japan - Outer Space », Japan's Space Diplomatic Policy, Ministry of Foreign Affairs of Japan, https://www.mofa.go.jp/policy/outer_space/pdfs/space_diplomatic_policy.pdf (consultée le 20 juillet 2018).

lancement de nouveaux satellites de télécommunications nécessaires au déploiement des forces d'auto-défense du Japon⁶¹.

3.1.5 Comment le programme spatial japonais est-il vendu au contribuable ?

Les missions spatiales sont présentées au public sous l'angle environnemental (la JAXA souligne le rôle des satellites d'observation de la Terre) afin de sensibiliser le public à la problématique environnementale⁶². Le Japon s'est engagé à réduire ses émissions de CO₂ le 11/12/2007 dans le Protocole de Kyoto, il joue un rôle de leader en la matière. Sa politique spatiale est en conformité avec ses engagements environnementaux internationaux.

De plus dans le shintoïsme (religion d'État au Japon dont le prêtre suprême est l'empereur), ce qui provient de la nature résulte de la divinité⁶³, dès lors les activités d'observation de la Terre à des fins de préservation de la planète sont ainsi plus facilement justifiables auprès du grand public, puisque justifiée par la culture ancestrale du pays.

3.1.6 La stratégie spatiale en résumé

Selon moi, le Japon désire (1) être non seulement techniquement autonome (son état d'avancement est lié à ses capacités d'innovation) mais aussi disposer de technologies de pointe, (2) sécuriser l'accès à ses approvisionnements (effectués très largement par voie maritime) notamment par la surveillance spatiale, (3) assurer la défense de son territoire (non seulement face à une puissance étrangère mais surtout par la prévention des catastrophes naturelles, fréquentes aux Japon), (4) procéder à des analyses scientifiques (le plus souvent en collaboration avec d'autres agences spatiales), et enfin (5) évaluer les

⁶¹ Ces satellites de télécommunications géostationnaires ont été lancés en janvier 2017 (*Kirameki-1*) et en avril 2018 (*Kirameki-2*). *Kirameki* (煌めき, キラメキ) signifie « étincelle ». Source : « Le livre blanc 2018 de la défense du Japon », Ministère de la défense du Japon, disponible à l'adresse suivante : https://www.mod.go.jp/e/publ/w_paper/pdf/2018/DOJ2018_Digest_FR.pdf (consultée le 26 avril 2019).

⁶² L'environnement ou la science en général n'est parfois qu'un faux prétexte. Ainsi c'est le cas pour la chasse à la baleine justifiée pour des raisons d'étude scientifique alors qu'il est maintenant possible d'étudier les baleines sans devoir les tuer. Les japonais aiment la nourriture fraîche (le rapport qualité/prix/santé -la faible quantité de graisse pour un apport protéinique élevé- semble à leurs yeux imbattable). Source : POUPEE Karyn, *Les Japonais*, Collection Texto, Editions Tallandier, 2012, p. 260. Cependant personne ne doute de la justification environnementale de ces satellites d'observation vu le nombre de typhons et autres catastrophes naturelles dont le Japon est victime.

⁶³ Sources : *Ibid.* p. 258 / ULiège : « Introduction aux religions du Japon : shintoïsme et bouddhisme » - Mme Edith Culot (2018-2019) : <https://www.programmes.uliege.be/cocoon/cours/ASIE0009-1.html>.

possibilités d'exploitation des ressources naturelles des astéroïdes et du sol sélène.

Ainsi le Japon touche aux quatre secteurs traditionnels du domaine spatial⁶⁴ : (1) le vol habité (via l'ISS menant des activités scientifiques), (2) l'exploration automatique de l'espace à caractère scientifique (via les sondes spatiales dans le système solaire et au-delà), (3) l'espace militaire (via notamment les satellites de renseignement ou de géolocalisation), et enfin (4) l'espace utile (via les satellites de télécommunications, de géolocalisation ou de télédétection, ces derniers permettant l'observation de la Terre à des fins de gestion de l'environnement et des catastrophes naturelles). On notera l'existence de technologies duales telles que par exemple les satellites de géolocalisation (le fameux système GPS nommé QZSS⁶⁵ au Japon) d'abord à usage militaire (pour guider sous-marins et avions) puis aussi civil (à vocation commerciale).

Les activités spatiales japonaises sont méconnues car les yeux se tournent le plus souvent vers la Chine, laquelle dispose d'un plus vaste programme spatial comprenant un programme spatial habité autonome et d'une station spatiale propre, ce dont ne dispose pas le Japon. Ceci est à nuancer car la Japon a longtemps été la seule puissance spatiale asiatique développant des activités scientifiques, le développement du programme spatial chinois est somme toute assez récent, ce dernier est opaque notamment en raison du grand nombre d'acteurs différents qui y contribuent.

Quelle est la vision stratégique du directeur de la JAXA, Monsieur Hiroshi YAMAKAWA⁶⁶ en 2018 ?

- S'assurer que les résultats de la JAXA en termes de recherche et de développement soient mis en pratique et s'enracinent dans la société (permettant ainsi au plus grand nombre de gens d'utiliser les informations fournies par les satellites, par exemple les

⁶⁴ Pour la définition des quatre secteurs du secteur spatial voir la source suivante: VILAIN Jacques, « Conquête spatiale : les dizaines de milliards que nous envoyons "en l'air" seront-ils un jour rentables ? », 6/03/2015, disponible à l'adresse suivante : <http://www.atlantico.fr/decryptage/conquete-spatiale-dizaines-milliards-que-envoyons-en-air-seront-jour-rentables-jacques-villain-2022108.html> (consultée le 25 juillet 2018).

⁶⁵ En anglais *Quasi-Zenith Satellite System*.

⁶⁶ Source : « Message from JAXA president », JAXA, disponible à l'adresse suivante: <http://global.jaxa.jp/about/president/index.html> (consultée le 18 juillet 2018).

satellites de géolocalisation ou de télédétection⁶⁷. Ceci couvre la sécurité spatiale, l'innovation scientifique dans l'exploration spatiale, l'aéronautique et les missions liées à l'ISS. Cela couvre à plus long terme l'ouverture des activités spatiales au secteur privé ;

- Devenir le pionnier d'une « nouvelle frontière » par des études aérospatiales innovantes et des technologies de pointe. Ici le directeur se réfère plus spécifiquement à la création d'une base spatiale internationale sur la Lune. Madame Arlène AMMAR-ISRAËL⁶⁸ disait déjà dans son livre en 2011 que la vision 2025 de la JAXA était de faire du Japon la première nation scientifique mondiale grâce à l'observation de l'espace et l'exploration des astéroïdes ainsi qu'à l'établissement de technologies destinées à l'utilisation de la Lune. Cela me paraît très optimiste, car même si l'innovation du Japon dans le domaine spatial est certaine, ses budgets se réduisent, d'autres priorités nationales peuvent interférer (gestion des catastrophes naturelles et incidents nucléaires au Japon) ; de plus, la concurrence entre acteurs spatiaux est rude.

Le Japon dispose pourtant d'atouts non négligeables dans le cadre de son volet sécuritaire : le caractère avancé de ses technologies duales⁶⁹ (autorisant l'usage civil et militaire de son programme spatial, un environnement juridique favorable au pro-activisme sécuritaire lié à des considérations politiques) et une alliance spatiale en bonne et due forme avec les États-Unis.

L'espace est par ailleurs associé au nucléaire⁷⁰, comme outil supplémentaire de puissance⁷¹ et comme moyen de renforcer l'image régionale et internationale d'un pays. C'est aussi un moyen de renforcer l'économie d'un pays via l'usage de technologies duales.

⁶⁷ La télédétection spatiale est l'ensemble des connaissances et des techniques utilisées pour déterminer les caractéristiques de la surface et de l'atmosphère de la Terre ou d'une autre planète. Le terme correspondant en anglais est *remote sensing from space*. La télédétection est une méthode qui permet d'obtenir des informations sur des objets en recueillant et en analysant des données sans contact direct entre l'instrument utilisé et l'objet analysé. Cela concerne donc l'utilisation d'un engin à distance, ici en l'occurrence un satellite permettant d'acquérir des informations sur l'environnement par exemple. Source : EDUSPACE, ESA, disponible à l'adresse suivante : https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_FR/SEMP4O1POWF_0.html (consultée le 19 juillet 2018).

⁶⁸ Source : AMMAR-ISRAËL Arlène et FELLOUS Jean-Louis, *L'exploration spatiale - au carrefour entre la science et la politique*, CNRS éd. 2011, p. 98.

⁶⁹ Plus de 90% des technologies spatiales servent aussi bien dans le domaine civil que militaire.

⁷⁰ Les tirs spatiaux de la Corée du Nord (par exemple celui du 7/02/2016) ont été précédé d'un test nucléaire (6/01/2016). Ces tests démontrent la capacité pour la Corée du Nord de disposer de lanceurs porteurs d'ogives nucléaires et de lancer des satellites à des fins militaires. Ce qui renforce le lien entre le spatial et le nucléaire à titre de menace potentielle lorsque utilisés conjointement à des fins militaires (technologie des lanceurs associée à la technologie nucléaire). Ceci renforce donc l'aspect sécuritaire du volet spatial tant sud-coréen que japonais face à la menace nord coréenne commune.

3.2 Les moyens alloués

3.2.1 Les moyens humains et l'organisation de la JAXA

Jusqu'en 2003, le programme spatial japonais était pris en charge par deux organismes : l'ISAS (*Institute of Space and Astronautical Science* créé en 1964) chargé des missions scientifiques et la NASDA (*National Space Development Agency of Japan*⁷² créée en 1969) en charge des lanceurs à ergols liquides et des satellites d'application. Cette situation qui entraînait la coexistence de deux familles de lanceurs et d'installations de lancement distinctes, a cessé avec la création en 2003 de la JAXA. Celle-ci provenant de la fusion des activités des deux organismes ainsi que celle du NAL (*National Aeronautic Laboratory* créé en 1955), un consortium universitaire consacré à la recherche aéronautique et à l'étude des planètes.

En effet, la NASDA développait les lanceurs et les satellites d'application tandis que l'ISAS développait les fusées-sondes, les satellites scientifiques ainsi que ses propres lanceurs à condition que leur diamètre ne dépasse pas 1,41 mètre. Cette division des activités spatiales japonaises civiles, qui aboutit à une démultiplication des développements, est une caractéristique dans le secteur spatial japonais qui va se perpétuer durant 30 ans. La décision de créer la JAXA en 2003 reflète un effort de rationalisation et découle d'un principe de saine gestion des actifs⁷³. L'ISAS et le NAL étaient orientés « science et technologie » tandis que la NASDA était orientée « applications pratiques ». Les missions spatiales -identifiées dans ce mémoire- démontrant l'innovation de la JAXA ont leur origine dans les activités de l'ISAS et du NAL (voir à ce sujet le chapitre 5.1.3).

Le tableau suivant montre les budgets et le personnel occupé par chacun des trois acteurs l'année de leur fusion formant la JAXA :

⁷¹ L'aspect sécuritaire de l'espace couvre (1) la militarisation de l'espace (via des moyens de reconnaissance et de surveillance) et (2) l'arsenalisation de l'espace (via des armes anti-satellites). La géopolitique de l'espace et la géopolitique des menaces balistiques (incluant les charges nucléaires et traversant l'espace) sont des domaines forcément liés.

⁷² Le premier responsable de la NASDA fut Hideo SHIMA, l'ingénieur des chemins de fer qui développa le *Shinkansen* (le train à grande vitesse japonais).

⁷³ La décision de créer la JAXA fut prise suite à une série de déboires majeurs dans ces trois organismes constitutifs : lancements avortés du lanceur H-II, échecs de la mise en orbite de sa charge utile lors des rares lancements réussis, voire encore des pannes précoces sur certains satellites. Source : AMMAR-ISRAËL Arlène et FELLOUS Jean-Louis, *L'exploration spatiale - au carrefour entre la science et la politique*, CNRS éditions 2011, p. 84.

Année 2003	NASDA	ISAS	NAL
Personnel	1.090	294	417
Budget	1,11 Milliard €	139 Millions €	176 Millions €

Les budgets et le personnel des trois organismes juste avant leur fusion au sein de la JAXA.
 Source : « Le programme spatial japonais », Wikipedia, disponible à l'adresse suivante :
https://fr.wikipedia.org/wiki/Programme_spatial_japonais (consultée le 4/07/2018)

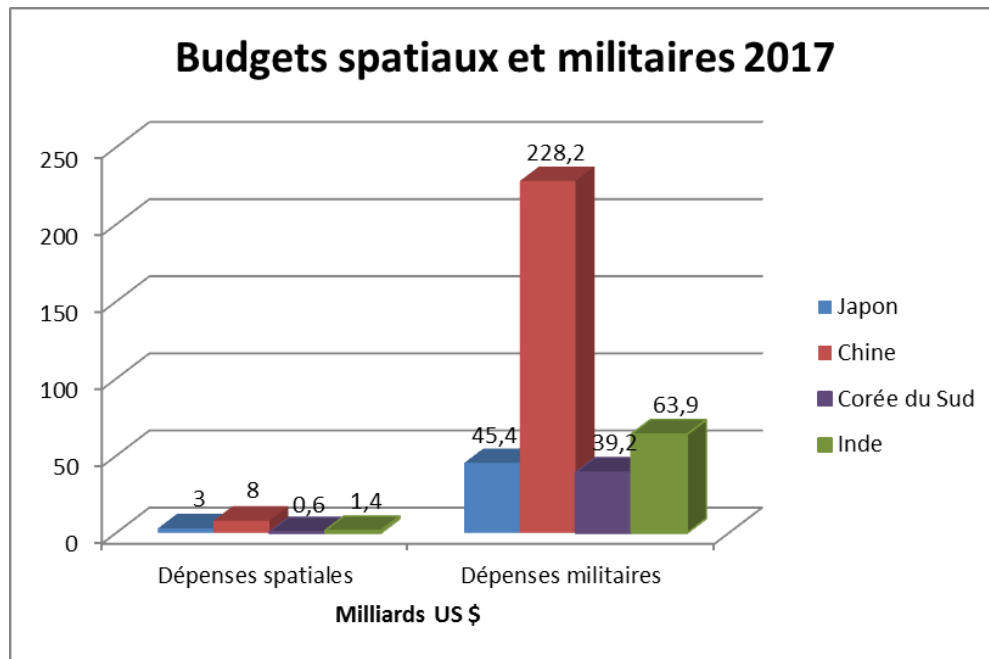
Ces sommes ne représentent pas l'ensemble du budget spatial puisque d'autres ministères allouent aux agences des budgets spatiaux pour couvrir leurs besoins propres (ces budgets représentaient environ 40 % du budget total en 2012). De plus, un président -issu du secteur privé- des télécommunications fut nommé en 2004 et mit en place une nouvelle distribution des tâches qui se caractérisa par un rôle accru du secteur privé. Ainsi toutes les activités de lancement de la fusée H-IIA (voir annexe 2) sont transférées à son constructeur Mitsubishi Heavy Industries tandis que le développement d'autres types de lanceurs firent l'objet d'un partenariat privé/public.

Le personnel de la JAXA est de 1.525 employés en 2018 (voir l'annexe 3).

3.2.2 Les moyens financiers

- Depuis les années 1990, le programme spatial japonais est en crise : le climat économique au Japon ne permet plus de financer tous les projets retenus et plusieurs missions ont été victimes de défaillances matérielles. Ainsi des raisons budgétaires expliquent l'impossibilité de rechercher l'innovation dans tous les secteurs du programme spatial. Quant aux défaillances matérielles, elles peuvent constituer un effet pervers de l'innovation puisque le focus serait mis sur certains aspects de missions spatiales au détriment d'autres, pourtant tout aussi importants pour assurer le succès d'une mission. Le budget spatial japonais a une tendance à la diminution, il est de 3 milliards US \$ en 2017 (tandis que la Chine avec 8 milliards US \$ double son budget spatial 2017 par rapport à celui de 2016).
- Le budget spatial japonais est-il de nature principalement militaire ? Il est difficile de répondre à cette question au vu des technologies duales (utilisables tant dans le domaine civil que militaire). Cependant, la réponse à cette question semble être négative si l'on compare le budget spatial avec le budget militaire japonais. En effet, on

s'aperçoit que le budget spatial ne représente en valeur relative que 6,6% du budget militaire en 2017 (voir les annexes 4 et 5 pour les chiffres mis à jour). Même si cela représente presque deux fois plus que la Chine (3,5%), c'est à relativiser puisque les budgets spatiaux et militaires chinois sont nettement plus élevés en valeur absolue que leur pendant japonais :



D'après les sources suivantes

- (1) BORDACCHINI Giulia and BURGER Edward, « Space Policies, Issues and Trends in 2017-2018 », ESPI (European Space Policy Institute) Report 65, October 2018, disponible à l'adresse suivante : <https://espi.or.at/publications/espi-public-reports> (consultée le 29 avril 2019).
- (2) MAMPAEY Luc et STIERNON Christophe, « Dépenses militaires, production et transferts d'armes - Compendium 2018 », Les rapports du GRIP, 2018/3, disponible à l'adresse suivante : https://www.grip.org/sites/grip.org/files/RAPPORTS/2018/Rapport_2018-3.pdf (consultée le 29 avril 2019).

- La part des budgets spatiaux du Japon et de la Chine, dans leurs PIB respectifs, est comparable (0,03% pour la Chine et 0,06% pour le Japon). La part du budget spatial par individu est plus élevée au Japon (23,71 US \$), ce qui semble logique puisque sa population est nettement moins nombreuse que celle de son grand voisin (5,76 US \$).

3.3 La JAXA et la coopération internationale

3.3.1 La coopération dans le cadre de la gestion des débris spatiaux.

- La France et les USA collaborent dans le cadre de la problématique de la surveillance des déchets spatiaux afin de limiter le risque de collision avec des vaisseaux. En effet, les déchets d'une taille comprise entre 1 et 10 cm sont les plus dangereux, car non évitables

(il y en aurait 300.000 en orbite autour de la Terre). La collaboration avec les États-Unis est la plus pointue, puisque les deux pays oeuvrent ensemble dans le cadre du programme SSA (*Space Situation Awareness*) c.-à-d. l'état des lieux spatial. Ce programme vise à notamment partager des données en commun dans le cadre du suivi des orbites des débris spatiaux (pour plus de détails, voir la section 4.4.5).

- Le Japon fait partie de l'IADC (*Inter-Agency Space Debris Coordination Committee* : le Comité interagences sur les débris spatiaux). Le but de ce comité est de faciliter la coopération entre agences spatiales par l'échange de données sur les débris spatiaux, de coopérer dans la recherche à ce sujet et d'identifier les meilleures options de gestion de ces débris⁷⁴. L'IADC regroupe les agences spatiales de 13 membres (Italie, France, Chine, Canada, Allemagne, Europe, Inde, Japon, Corée du Sud, États-Unis, Russie, Ukraine, Royaume-Uni)⁷⁵.
- Le Japon désire la rédaction d'un code de conduite international pour l'utilisation de l'espace à des fins tant civiles que militaires, interdisant formellement les tests d'armes antisatellites et mettant en œuvre des mesures contraignantes évitant les collisions entre satellites. Le Japon travaille dans ce cadre au sein du COPUOS (*United Nations Committee on Peaceful Uses of Outer Space* : le Comité des Nations unies sur l'utilisation pacifique de l'espace extra-atmosphérique). Le groupe de travail en charge du développement durable dans les activités dans l'espace extra-atmosphérique ne se limite d'ailleurs pas aux débris spatiaux, puisqu'il s'occupe aussi du développement durable sur Terre, de l'état des lieux spatial (le suivi des objets dans l'espace), de la législation spatiale ainsi que des bonnes pratiques des acteurs spatiaux⁷⁶. Le Japon a proposé un plan destiné à approfondir les discussions en 2019 sur la contribution des technologies spatiales au développement durable⁷⁷. Le Japon est membre du COPUOS depuis 1958, date de sa création⁷⁸. Le COPUOS se compose d'un comité plénier qui se

⁷⁴ Source : Inter-Agency Space Debris Coordination Committee, disponible à l'adresse suivante : <http://www.iadc-online.org/> (consultée le 24 juillet 2015).

⁷⁵ Source : Inter-Agency Space Debris Coordination Committee (Member Agencies), disponible à l'adresse suivante : <https://www.iadc-online.org/index.cgi?item=members> (consultée le 10 septembre 2018).

⁷⁶ Source : « Ministry of Foreign Affairs of Japan - Outer Space », Japan's Space Diplomatic Policy, Ministry of Foreign Affairs of Japan, https://www.mofa.go.jp/policy/outer_space/pdfs/space_diplomatic_policy.pdf (consultée le 20 juillet 2018).

⁷⁷ Cela couvre la diminution des risques de désastres naturels sur Terre par exemple. Source : « Permanent Mission of Japan to the International Organizations in Vienna - Outer Space », The International Organizations in Vienna, disponible à l'adresse suivante, http://www.vie-mission.emb-japan.go.jp/itpr_en/outerspace_en.html (consultée le 20 juillet 2018).

⁷⁸ Source : « The United Nations Committee on Peaceful Uses of Outer Space (Copus) », disponible à l'adresse suivante : <http://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/copus/index.html> (consultée le 23 septembre 2015) et <http://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/copus/members/evolution.html> (consultée le 20 juillet 2018).

réunit en principe une fois par an et de deux sous-comités (l'un pour les questions juridiques et l'autre pour les questions scientifiques et techniques)⁷⁹. La présidence du COPUOS étant alternée, le Japon en a pris la présidence de 2012 à 2013 (par le Dr. Yasushi HORIKAWA, Conseiller technique de la JAXA).

3.3.2 La coopération dans le cadre de la prévention des catastrophes naturelles

- Le Japon fait partie du CEOS (*Committee on Earth Observation Satellites*⁸⁰), il a en outre signé la Charte internationale sur la gestion des catastrophes naturelles et technologiques. Le CEOS est une organisation internationale qui regroupe, au niveau mondial, l'ensemble des agences spatiales ainsi que les principaux programmes utilisateurs actifs dans le domaine de l'observation de la Terre. Le CEOS recherche l'harmonisation des programmes spatiaux dans le domaine de l'observation de la Terre, entre autre par la promotion de standards de partages de données mais aussi par une stratégie de surveillance globale de l'écosystème terrestre depuis l'espace. Le CEOS fonctionne sur une base volontaire et ne bénéficie pas de financement propre. Le secrétariat permanent est assuré conjointement par la NASA, l'ESA et la JAXA⁸¹.
- La JAXA utilise ses satellites de télédétection (ex : observation de la terre) au profit des pays de l'ASEAN⁸² dans le cadre de la prévention des catastrophes naturelles dans la région. Ainsi le Japon fournit de l'équipement informatique, mais également des données au Centre de coordination de l'ASEAN pour l'assistance humanitaire en gestion de crise (AHA : *ASEAN Coordinating Center for Humanitarian Assistance on disaster management*⁸³).

⁷⁹ Source : « Coopération internationale », Belspo (*Belgian Science Policy*, Service public de programmation de la Politique scientifique fédérale), disponible à l'adresse suivante : https://www.belspo.be/belspo/space/intCoop_fr.stm (consultée le 20 juillet 2018).

⁸⁰ Source : « CEOS », *Committee on Earth Observation Satellites*, disponible à l'adresse suivante : <http://ceos.org/> (consultée le 17 septembre 2018).

⁸¹ Source : « Coopération internationale », Belspo (*Belgian Science Policy*, Service public de programmation de la Politique scientifique fédérale), disponible à l'adresse suivante : https://www.belspo.be/belspo/space/intCoop_fr.stm (consultée le 20 juillet 2018).

⁸² Pour rappel, les membres de l'ASEAN (*Association of Southeast Asian Nations*) sont : la Thaïlande, l'Indonésie, la Malaisie, le Vietnam, Singapour, Les Philippines, le Myanmar (l'ex-Birmanie), le Cambodge, le Laos et Brunei.

⁸³ Sources : « The Fifteenth Japan-ASEAN Summit 2012 », Ministry of Foreign Affairs of Japan, 19 November 2012, disponible à l'adresse suivante : https://www.mofa.go.jp/region/asia-paci/asean/j_asean_mpm.html (consultée le 23 juillet 2018) / « Visit of the State Minister for Internal Affairs and Communications of Japan », The AHA Centre - Home of one ASEAN one Response, 2 May 2017, disponible à l'adresse suivante : <https://ahacentre.org/news/visit-from-the-state-minister-for-internal-affairs-and-communications-of-japan/> (consultée le 23 juillet 2018).

- Dès lors que l'industrie spatiale japonaise a développé une compétence de pointe dans le domaine de l'observation de la Terre, des accords bilatéraux spécifiques ont vu le jour.
 - La JAXA et l'ISRO (Indian Space Research Organization) ont signé en novembre 2016 un accord de coopération (*Memorandum of Understanding*) concernant le partage de données satellitaires liées aux mesures scientifiques des précipitations⁸⁴.
 - La JAXA se préoccupe du changement climatique et donc de la déforestation de notre planète. Elle observe spécifiquement les forêts en Indonésie ainsi que la forêt amazonienne et fournit des images issues de ses satellites d'observation aux deux pays abritant ces forêts (Indonésie et Brésil)⁸⁵.

3.3.3 La coopération dans le cadre des missions liées à l'ISS

Le Japon est le seul partenaire asiatique à la Station Spatiale Internationale (*International Space Station* ou ISS en anglais).

- La station spatiale internationale fut un projet à l'origine américain qui démontra non seulement qu'une coopération entre agences spatiales multiples était possible, mais qu'elle fut exemplaire à bien des égards (malgré les difficultés rencontrées). Le but du projet était d'avoir une base intermédiaire pour l'exploration de la Lune et d'autres planètes, mais cette base devait pouvoir également servir à des études médicales (notamment l'étude des effets de l'absence de gravité chez l'homme), à des études scientifiques ainsi que sur le développement de nouveaux matériaux⁸⁶. L'apport technologique et financier était partagé entre les pays membres (toute tension

⁸⁴ Source : « JAXA and Indian Space Research Organization (ISRO) signed the Implementation Arrangement (IA) concerning cooperation on validations, improvements, and applications of rainfall products using satellite images and ground measurements », JAXA, disponible à l'adresse suivante : <http://global.jaxa.jp/projects/activity/int/topics.html> (consultée le 10 juillet 2018).

⁸⁵ Source : « Ministry of Foreign Affairs of Japan - Outer Space », Japan's Space Diplomatic Policy, Ministry of Foreign Affairs of Japan, https://www.mofa.go.jp/policy/outer_space/pdfs/space_diplomatic_policy.pdf (consultée le 20 juillet 2018).

⁸⁶ L'ISS est un laboratoire de pointe dans les domaines des sciences de la vie, sciences des matériaux, biologie, physique des fluides etc, où on utilise les propriétés de l'impesanteur pour réaliser des activités de recherche scientifique. On peut citer, dans le domaine médical, que des vaccins contre la salmonellose ou certaines pneumonies à streptocoques ont été isolés à bord, et sont ensuite testés cliniquement. Source : PESQUET Thomas, « C'est cher la conquête spatiale ? », Huffpost, 4/10/2016, disponible à l'adresse suivante: <https://www.huffingtonpost.fr/thomas-pesquet/conquete-spatiale-cout-b-1947712.html> (consultée le 25 juillet 2018).

internationale mettant en péril le financement du projet). C'est le directeur de la NASA, Monsieur BEGGS qui invita le Japon à participer au projet en 1982⁸⁷. Le Japon répondit à l'appel en 1985. Le Japon demeure le seul participant asiatique à ce jour à la Station spatiale internationale. La Russie fut invitée à son tour en 1993 et la station put héberger ses premiers astronautes en 2000. Wakata Kōichi fut le premier astronaute japonais à entrer à bord de l'ISS dans un cadre de séjour de longue durée en 2008, il fut aussi le premier japonais à la commander en 2014⁸⁸. Il est prévu de cesser la durée opérationnelle de l'ISS en 2024 (et de la remplacer par une autre station⁸⁹).

- L'activité spatiale du Japon a longtemps été sous l'influence de la politique spatiale américaine, ce qui s'est traduit notamment par une implication particulièrement importante dans le développement de la Station spatiale internationale ainsi que le développement du vaisseau cargo HTV avec des retombées nettement positives comme la proportion élevée d'astronautes japonais dans l'équipage de l'ISS.
- La JAXA est un participant important de la station spatiale internationale avec une participation à hauteur de 12,8% au développement du sous-ensemble américain et l'appui logistique apporté à travers le lancement de missions de ravitaillement et de support logistique assurées par le vaisseau cargo HTV (*H-II/HOPE Transfer Vehicle*⁹⁰) nommé *Kōnotori*. Elle a aussi fourni le laboratoire spatial JEM (*Japanese Exploration Module*) *Kibō*⁹¹, qui est le plus gros module pressurisé de la station spatiale. Sa participation lui donne le droit de disposer d'une place pour un astronaute japonais dans l'équipage permanent environ 6 mois par an. On le voit, la contribution japonaise au sein de la station spatiale internationale n'est pas négligeable. Elle est aussi due à sa réputation en matière d'innovation. *Kōnotori* est un module de ravitaillement automatisé (utilisé d'ailleurs tant pour *Kibō* que pour l'ISS).

⁸⁷ Source : DAWSON Linda, *The politics and perils of space exploration - Who will compete, who will dominate ?*, Springer editions, 22 November 2016, p. 155.

⁸⁸ Source : « JAXA astronaut biographies - Koichi Wakata (Dr. Eng.) », 28 March 2017, disponible à l'adresse suivante: <http://iss.jaxa.jp/en/astro/biographies/wakata/index.html> (consultée le 12 juillet 2018).

⁸⁹ Source : DAWSON Linda, *The politics and perils of space exploration - Who will compete, who will dominate ?*, Springer editions, 22 November 2016, p. 158.

⁹⁰ Le HTV est aussi appelé *Kōnotori* (こうのとり, c.-à-d. « cigogne orientale » ou « cigogne blanche »). Le *HOPE Transfer Vehicle* était en 1987 un projet bien différent, il s'agissait de créer une véritable *Space Shuttle* habitée. Suite à différents échecs, le projet devint la création d'un vaisseau cargo non habité. Source : Lile Ajey, *Asian Space Race : Rethoric or Reality ?*, Springer editions, 2013, p. 209.

⁹¹ Le *Japanese experiment module* fut baptisé *Kibō* (希望、きぼう), c.-à-d. « espoir ». Il constitue le plus grand module scientifique de l'ISS. *Kibō* permet de conduire des expériences en environnement de microgravité, il comporte aussi une plateforme pour l'observation de la Terre. Source : *Ibid.*

- La JAXA a confirmé le 8 mars 2018 à Tokyo sa volonté de collaboration avec l'ESA dans le cadre de l'ISS⁹².
- La robotique est un autre secteur bien connu témoignant de l'innovation propre au pays du Soleil Levant. Ainsi un robot dénommé *Kiribo* a été inventé par le Japon afin de faire face à la solitude prolongée⁹³ des astronautes à bord de la station spatiale internationale.
- En outre, le module d'habitation de la future station spatiale lunaire internationale nommée *Deep Space Gateway* (prévue pour 2030) devrait être réalisé conjointement par l'ESA et la JAXA. La JAXA serait en outre seule responsable du module logistique⁹⁴.

⁹² Source : « ESA and JAXA confirm further cooperation in space », ESA, 8/03/2018, disponible à l'adresse suivante: https://www.esa.int/Our_Activities/Human_Spaceflight/ESA_and_JAXA_confirm_further_cooperation_in_space (consultée le 25 juillet 2018).

⁹³ *Kiribo* (きりぼ) est un nom propre. Source : « Le retour sur terre de *Kiribo*, le 1^{er} astronaute robot androïde japonais », Sciences et Avenir, 16/02/2015, à l'adresse suivante: https://www.sciencesetavenir.fr/espace/retour-sur-terre-de-kiribo-le-1er-astronaute-robot-androïde-japonais_34483 (consulté le 26 juin 2018).

⁹⁴ Il s'agit d'une station spatiale en orbite lunaire à ne pas confondre avec une base lunaire. Source : Conférence de FRIMOUT Dirk et PLETZER Vladimir, « La conquête de l'espace de 1918 à 2018... Et ensuite ? », Institut technique Saint-Laurent de Liège (ISLG), 25/04/2019, disponible à l'adresse suivante : <http://www.islg.be/events/centenaire/> (consultée le 25 janvier 2019).

4. La quête d'innovation

Toute innovation, quel que soit le secteur d'activités (donc en ce compris le secteur spatial), ne peut se faire sans investissements. Si l'on compare le poids des dépenses en recherche et développement par rapport au Produit Intérieur Brut, le Japon se classe en 2016 en cinquième position au niveau mondial, bien devant la Chine en douzième position⁹⁵.

L'innovation ne pouvant être recherchée dans l'intégralité du spectre du programme spatial nippon pour des raisons budgétaires, la JAXA a du faire des choix et se concentrer sur certains secteurs qui sont présentés ci-après.

Dans le présent travail, l'aspect historique et culturel a été pris en compte là où cela s'avérait pertinent.

La notion d'innovation, comprise par la JAXA et le lecteur occidental, n'est certainement pas celle comprise par la Chine, laquelle parle d' « innovation de recombinaison⁹⁶ » c.-à-d. issue de l'importation, de l'absorption, de l'assimilation et de la ré-innovation, évitant ainsi au pays de réaliser des innovations en repartant à zéro (y compris et surtout dans le secteur spatial). Ceci ne signifie pas non plus que l'innovation de la JAXA nécessite de repartir à zéro à chaque fois, mais son concept de l'innovation ne requiert pas l'usage souvent systématique (mais pas toujours) de la copie tel que pratiqué par la CNSA (*Chinese National Space Agency*, agence spatiale chinoise). La clé de la croissance économique chinoise est due à sa capacité de production mais certes pas d'invention ou d'innovation, à l'inverse du Japon.

⁹⁵ Cependant le Japon est devancé, depuis 2009, par la Corée du Sud. Pour plus de détails à ce sujet, voir l'annexe 11.

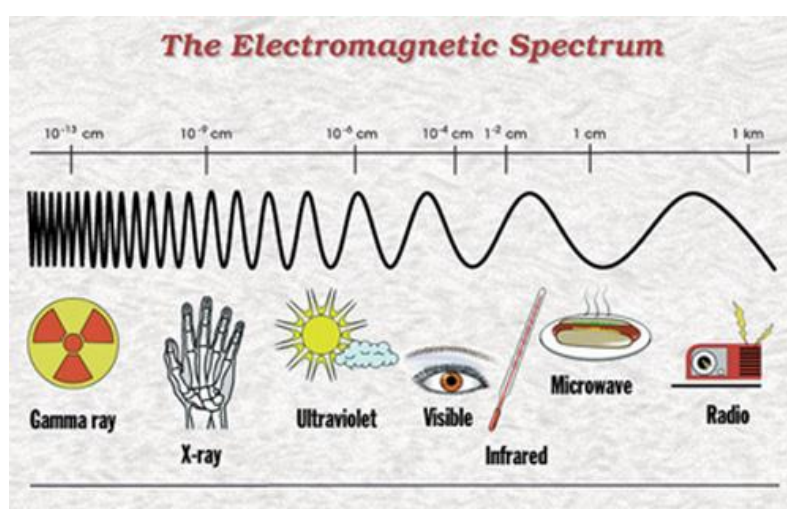
⁹⁶ *YouTube* a certes été copié par les chinois mais le clone *Youkou* a dépassé l'original en lui ajoutant de la valeur ajoutée, ainsi, de par son contenu additionnel, il est parvenu à concurrencer la télévision chinoise. La capsule *Shenzou* n'est pas qu'une simple copie de *Soyouz*, cette dernière -achetée à la Russie- a non seulement été sinnisée mais surtout améliorée. Source : ALBERTI Marco, *When China goes to the Moon*, ESPI (European Space Policy Institute), « Studies in Space Policy » collection, Springer International Publishing AG editions, July 2015, p. 165. Cependant la Chine est aussi capable d'innover. La preuve en est de par le fait qu'en 2017 un satellite quantique chinois a réussi à envoyer des données indéchiffrables et inviolables vers la Terre, ce qui fut une première dans le monde selon Huang PING de l'Institut d'études internationales de l'Université du Québec à Montréal. Source : PING Huan (chercheur à l'Université du Québec), « La Chine construit sa cybersécurité - Géopolitique de la Chine », *Diplomatie, Hors Série* n°45, Juin 2018, p.86.

4.1 La vision aux rayons X - La mission *Hitomi* (ひとみ)

Minoru ODA (scientifique japonais né le 24/02/1923 et décédé le 1/03/2001) a mis au point fin des années quatre-vingt le collimateur à modulation utilisé en astronomie des rayons X avant le développement des télescopes capables de focaliser ce type de rayonnement⁹⁷.

Le Japon a développé une expertise incontestable dans l'observation du rayonnement X, le télescope développé dans le cadre de la mission *Hitomi* put démontrer ses prouesses technologiques en 2016 (par une superbe observation de l'amas de galaxies de Persée) malgré l'échec de la mission causé par des erreurs logicielles de calculs -pourtant évitables- portant sur le contrôle de la stabilité du satellite dans l'espace. Cet exemple démontrant par ailleurs que l'innovation portant sur un aspect précis d'une mission spatiale (ici, la conception de l'instrument permettant la mesure ultraprécise du spectre en rayons X) ne peut se faire au détriment d'autres aspects (dans notre cas de figure la stabilité du satellite emportant le télescope) sans mettre en danger la mission dans son ensemble.

Afin d'introduire le sujet il est bon de présenter la notion de « spectre électromagnétique » (incluant la vision humaine sous le nom de « domaine visible »), ce dernier se décline sous plusieurs aspects. En effet, il convient de pouvoir « voir l'invisible » si l'on veut pouvoir étudier l'Univers.



Source : « The Electromagnetic Spectrum », Stanford University, disponible à l'adresse suivante : <http://solar-center.stanford.edu/SID/activities/GreenSun.html> (consultée le 26 juin 2018).

⁹⁷ Voir à ce sujet l'annexe 2.

Je ne pourrai l'écrire mieux que Monsieur Grégor RAUW, astrophysicien et lecteur de ce mémoire : « En astrophysique, à peu d'exceptions près, toute l'information dont disposent les scientifiques sur les astres vient de l'analyse de la lumière émise par ceux-ci. Alors, afin de tirer un maximum de renseignements, il faut étudier la lumière sur un domaine de longueurs d'onde le plus vaste possible, depuis les ondes radio jusqu'aux rayons gamma, en passant par l'infrarouge⁹⁸, le domaine visible, l'ultra-violet et les rayons X⁹⁹ ».

La mission *Hitomi* (ひとみ) a été planifiée en collaboration avec la NASA.

Je paraphrase largement Monsieur RAUW dans le texte qui suit pour ce chapitre 4.1.

Le 26 mars 2016 la JAXA perd le contrôle de son satellite scientifique *Hitomi*¹⁰⁰ (« Pupille » en japonais) qu'elle venait juste de mettre en orbite autour de la Terre seulement quelques semaines auparavant. C'est d'autant plus désolant que ce fut la troisième tentative pour disposer d'un calorimètre à rayons X, un instrument permettant aux scientifiques d'étudier par l'observation les phénomènes les plus énergétiques de l'Univers¹⁰¹.

⁹⁸ William HERSCHELL découvre la lumière infrarouge en 1800. Source : COURTOIS Hélène et TOGNINI Michel, *Explorateurs de l'espace - Voyage aux frontières de l'Univers*, éditions Dunod, Avril 2019, p.179. Seuls la lumière optique, les ondes radio et le proche infrarouge peuvent traverser l'atmosphère terrestre. L'essentiel du spectre électromagnétique est ainsi bloqué car absorbé par l'atmosphère, ce qui explique que 90% de l'information recueillie sur le ciel provient des « télescopes de l'invisible » depuis l'espace, capables de détecter notamment le rayonnement X et l'infrarouge. L'infrarouge permet de révéler notamment les nuages froids de gaz et de poussière. Ceci dit les télescopes spatiaux et terrestres restent complémentaires surtout dans le domaine du visible, car un télescope terrestre est nettement moins onéreux pour une performance bien supérieure car sa surface collectrice de lumière est bien plus importante. Source : LUMINET Jean-Pierre, *L'univers en 100 questions*, éditions Tallandier, collection Texto, 5 novembre 2015, pp. 19-22.

⁹⁹ Le domaine des rayons X est conventionnellement défini comme allant des longueurs d'onde de 0,1 à 100Å, soit des énergies 50 à 50.000 fois plus élevées que la lumière visible. Source : RAUW Grégor, « La malédiction X a encore frappé ! », *Le Ciel* 2016/9 (Société Astronomique de Liège), pp. 418-421. Les rayons X ont été découverts en 1895 par le physicien allemand Wilhelm RÖNTGEN, mais leur source d'émission cosmique la plus importante « Scorpius X-1 » fut découverte en 1962 par Riccardo GIACCONI. Le rayonnement X permet de détecter des sources d'émission contenant du gaz extrêmement chaud, telles que des étoiles à neutrons, des trous noirs ou des étoiles massives. Source : GREGERSEN Erik, « Scorpius X-1 », *Encyclopaedia Britannica.com*, 20/02/2009, disponible à l'adresse suivante : <https://www.britannica.com/topic/Scorpius-X-1> (consultée le 9 juin 2019).

¹⁰⁰ *Hitomi* (瞳、ひとみ) se traduit par « pupille » (c'est également un prénom féminin).

¹⁰¹ Les phénomènes énergétiques dans l'univers sont ceux impliquant des quantités colossales de gaz à des températures de plusieurs dizaines de millions de degrés. L'observation de ces phénomènes n'est possible qu'aux longueurs d'onde propres aux rayons X. Ainsi un instrument d'observation extrêmement performant sera d'autant plus utile que la lumière émise par une source est peu brillante. Source : Source : GREGERSEN Erik, « Scorpius X-1 », *Encyclopaedia Britannica.com*, 20/02/2009, disponible à l'adresse suivante : <https://www.britannica.com/topic/Scorpius-X-1> (consultée le 9 juin 2019).

On ne peut pas se contenter de détecter la présence d'un rayon X, il faut aussi en détecter la puissance énergétique reçue par l'appareil de détection, c'est la spectroscopie. Cela permet de connaître les propriétés physiques de la source observée (par exemple : température, ...)

Ce dont les astrophysiciens rêvent depuis des années, c'est un moyen de réaliser des analyses spectroscopiques pour des rayons X d'énergie plus élevée, pour des sources étendues, et avec un pouvoir de résolution important.

Mais pour quoi faire ?

Un tel instrument devrait permettre de mesurer pour la première fois en détail les mouvements (turbulence ou écoulements organisés) dans le gaz qui constitue la source de rayons X. Ceci permet d'étudier non seulement les trous noirs mais aussi les étoiles, voire même des planètes géantes de notre propre Système solaire.

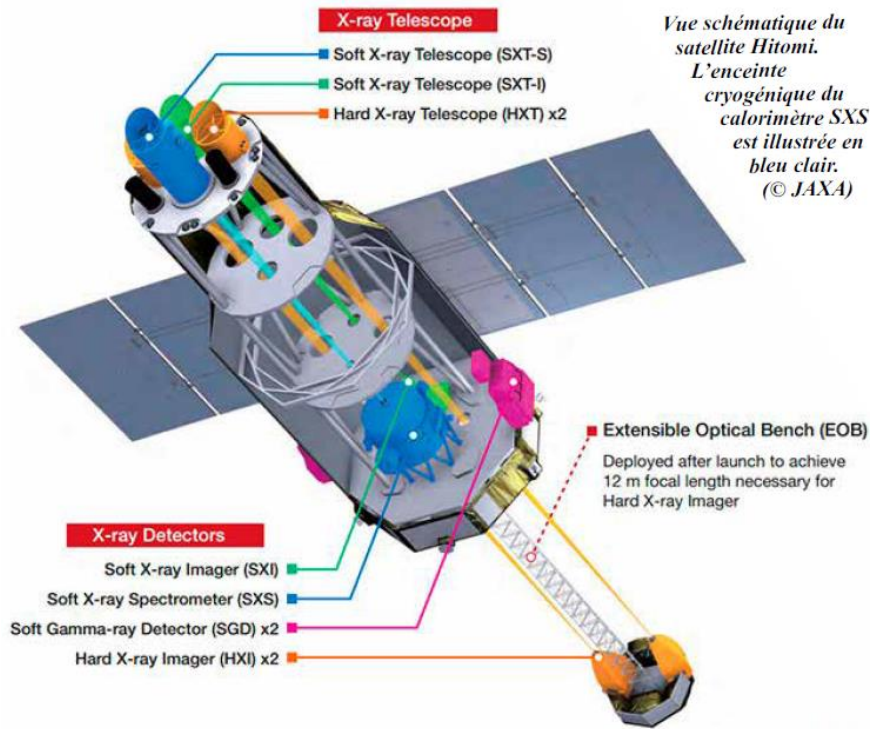
En principe, un tel instrument existe : c'est un calorimètre.

Comment cela fonctionne-t-il ? Tout rayon X produit une très légère augmentation de la température et celle-ci est directement proportionnelle à l'énergie du rayon X absorbé.

Autrement dit, la mesure de la variation de température nous donne la puissance énergétique du rayon X (spectroscopie). Il faut donc concevoir un engin capable de travailler à de très basses températures¹⁰². Comment faire pour refroidir le détecteur ? De manière physique en l'aspergeant d'hélium liquide (mais pour ce faire, il faut donc emporter dans l'espace un réservoir d'hélium, ce dernier définissant alors la durée de vie du calorimètre), ou de manière mécanique. Les deux cas de figure requièrent un très haut degré de technicité.

C'est ici qu'intervient la JAXA ! Dans un premier temps, la JAXA choisit exclusivement l'option de l'hélium liquide. Bien mal lui en prit !

¹⁰² Par très basse température on entend : « à seulement 0,05 degré au-dessus du zéro absolu ». Source : *Ibid.*



Hitomi ou Astro-H

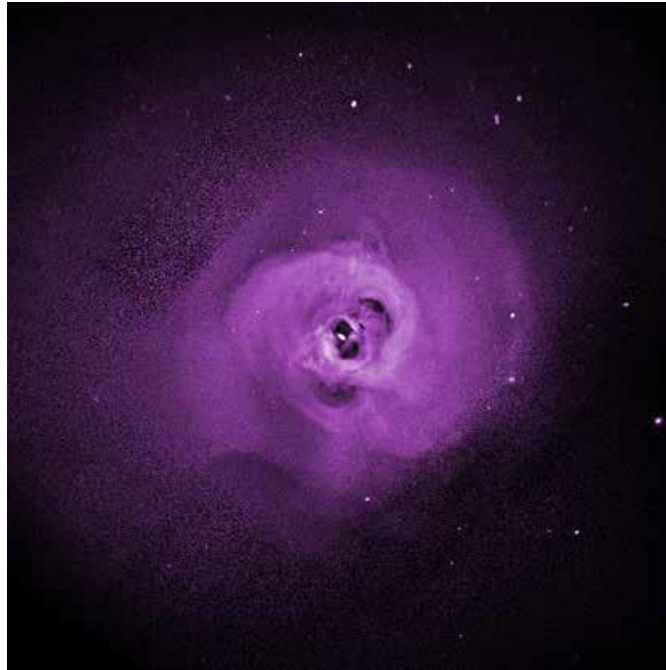
Sources : RAUW Gregor, « La malédiction X a encore frappé ! », Le Ciel 2016/9 (Société Astronomique de Liège), pp. 418-421 / SANGUY Marie Ange, « Bases lunaires - On repense tout! » (fiche technique Astro-H/Hitomi), Espace Exploration n° 33, Mai-Juin 2016, pp 66-67.

Comme cela a déjà été mentionné, la JAXA procéda à trois tentatives pour lancer un calorimètre X en orbite terrestre.

1. La première tentative fut l'instrument XRS (X-Ray Instrument) à bord du satellite Astro-E. Le lancement prévu pour le 10/02/2000 n'eut pas lieu suite à une défaillance du lanceur et le calorimètre fut noyé dans l'océan Pacifique.
2. Le lancement d'Astro-E2 (une quasi copie d'Astro-E), rebaptisé *Suzaku*¹⁰³ eut lieu le 10/07/2005 sans souci. Les ennuis ne tardèrent pas à arriver. En raison d'une erreur de conception du calorimètre, l'hélium se propagea dans des zones non prévues, se vidant de ses réserves, en conséquence l'instrument XRS prévu pour durer 2 ans épuisa ses réserves d'hélium liquide au bout de quelques 10 jours. Même si la mission *Suzaku* dura effectivement 10 ans, car elle emportait d'autres instruments que le calorimètre, elle ne permit aucune observation par ce dernier.

¹⁰³ *Suzaku* (朱雀、すざく) se traduit par « oiseau vermillon du sud ». D'après le système des cinq éléments taoïstes chinois, il représente le feu. Cet oiseau est une créature mythologique des constellations chinoises, *Suzaku* étant sa traduction japonaise.

3. Le lancement d'Astro-H se fit en coopération avec la NASA le 17/02/2016. La JAXA conserva l'hélium liquide, mais il ne fut plus le seul système de refroidissement ; les méthodes mécaniques furent prévues comme système d'appoint en cas de défaillance du système de refroidissement par l'hélium. Une fois dans l'espace, Astro-H fut rebaptisé *Hitomi*. Alors que les observations pouvaient enfin commencer, le sort s'acharna le 26/03/2016, la rotation du satellite s'était emballée, entraînant la dislocation de ce dernier. Il flotta parmi les débris de ses propres panneaux solaires. Or sans ceux-ci, c.-à-d. sans énergie, la mission était stoppée net. Cette-fois le calorimètre n'y était pour rien et l'on pencha sur des erreurs de programmation dans le logiciel de contrôle de l'altitude du satellite. Ceci illustre parfaitement le fait que la recherche de l'innovation (ici la conception du calorimètre) se fait parfois au détriment de l'étude d'aspects tout autant cruciaux d'une mission spatiale (ici le contrôle informatique de la stabilité du satellite emportant le calorimètre). Cependant, *Hitomi* a quand-même réussi -dans le cadre de son unique observation- à collecter un spectre inédit de Persée avant l'erreur tragique, montrant les immenses possibilités offertes par le calorimètre grâce à ses hautes performances technologiques. L'unique observation d'*Hitomi* fut une réussite scientifique. L'amas de galaxies de Persée est immergé dans un gaz chaud sur une immense étendue, et émet des quantités colossales de rayons X. Cet amas de galaxies comprend la galaxie NGC1275, laquelle comporte un trou noir supermassif éjectant aussi du gaz. Dès lors l'interaction entre ces deux types de production de gaz, de même que les propriétés physiques de l'amas de galaxies, ont pu être observés. Et ce dans un sens que d'ailleurs les scientifiques n'avaient pas anticipé, un tel constat est impossible à faire sans l'observation aux rayons X avec un tel degré de qualité d'image.



Observation aux rayons X de l'amas de galaxies de Persée produisant du gaz intergalactique en interaction avec le gaz produit également par trou noir de la galaxie NGC1275 que l'amas de Persée abrite en son centre.

Sources : « Perseus Cluster », Chandra X-Ray Observatory Center, Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, image credit by NASA/CXC/Stanford/I.Zhuravleva et al, disponible à l'adresse suivante :

http://chandra.harvard.edu/photo/2014/perseusvirgo/perseusvirgo_hand.pdf (consultée le 17 juillet 2018) / « An Unexpectedly Calm Hot Gas in the Center of the Perseus Cluster », JAXA, 7/07/2016, disponible à l'adresse suivante :

http://global.jaxa.jp/projects/sat/astro_h/topics.html#topics8001 (consultée le 18 juillet 2018) / : RAUW Gregor, « La malédiction X a encore frappé ! », Le Ciel 2016/9 (Société Astronomique de Liège), pp. 418-421.

Une quatrième tentative japonaise est-elle possible ? Cela est en fait prévu pour 2021 via la mission XRISM (voir ci-après). La JAXA devait en effet se dépêcher, car sinon elle se serait vite retrouvée en compétition avec le projet européen *Athena* prévu pour 2028. Celui-ci emmenant à son bord un calorimètre de nouvelle génération¹⁰⁴ surclassant le calorimètre nippon lancé dans l'espace en 2016. L'université de Liège et le CSL (Centre Spatial de Liège) participent à ce projet ambitieux au sein d'un consortium rassemblant des centres de recherches non seulement européens mais aussi américains et... japonais. Le Japon a aussi choisi la voie de la coopération en s'associant avec le projet *Athena*¹⁰⁵, ce qui n'est pas étonnant, car d'une part le pays collabore déjà dans de nombreux domaines (il suffit de penser à l'ISS) et d'autre part le budget de la JAXA est également limité.

¹⁰⁴ Ce calorimètre *in fine* international est nommé X-IFU (pour X-ray Integral Field Unit).

¹⁰⁵ Certaines technologies japonaises de refroidissement du plan focal dans le cadre de la mission XARM (renommé XRISM), seront recyclées dans X-IFU c.-à-d. dans le cadre du projet *Athena* dont la JAXA est partenaire.

La réaction de la JAXA face à cet échec a été unique, aucune autre agence spatiale au monde n'aurait réagi de la même manière.

La JAXA s'est publiquement excusée non seulement auprès des astrophysiciens japonais, mais également auprès de la communauté internationale (et en particulier auprès des chercheurs qui comptaient réserver un temps d'utilisation du télescope spatial et disposer d'une partie des résultats de la mission japonaise).

Le communiqué de presse de la JAXA, après l'échec de la mission *Hitomi*, afficha un *Mea Culpa* tant vis-à-vis des astrophysiciens japonais que des chercheurs internationaux. Ce *Mea Culpa* public est impensable en Occident, car notre culture est différente de celle du Japon.

Le texte original du communiqué de presse¹⁰⁶ figure ci-après :

JAXA expresses the deepest regret for the fact that we had to discontinue the operations of ASTRO-H and extends our most sincere apologies to everyone who has supported ASTRO-H believing in the excellent results ASTRO-H would bring, to all overseas and domestic partners including NASA, and to all foreign and Japanese astrophysicists who were planning to use the observational results from ASTRO-H for their studies.

Des excuses de la JAXA, et plus particulièrement vis-à-vis de non Japonais, sont liées au sentiment de honte typiquement japonais lorsque l'on a « perdu la face ». Le remboursement d'une dette morale au Japon se fait via le *Gimu*¹⁰⁷ (incluant le devoir envers son travail), le « *Giri*¹⁰⁸ envers le monde » (incluant le respect des obligations contractuelles) ou le « *Giri* envers son propre nom » (incluant l'obligation de ne pas reconnaître un échec professionnel, même s'il est incontestable, puisque au Japon, tout échec professionnel revient à critiquer la personne elle-même). Lorsqu'une personne est incapable de rembourser sa dette morale via le « *Giri* envers le monde » (voire dans certains cas via le « *Giri* envers son propre nom »), elle serait alors condamnée au déshonneur et se doit de

¹⁰⁶ Source : « Operation Plan of X-ray Astronomy Satellite ASTRO-H (*Hitomi*) », JAXA, 28/04/2016, disponible à l'adresse suivante : http://global.jaxa.jp/press/2016/04/20160428_hitomi.html (consultée le 18 juillet 2018).

¹⁰⁷ *Gimu* (義務、ぎむ) ou « remboursement de la dette » (en étant guidé par son propre cœur).

¹⁰⁸ *Giri* (義理、ぎり) ou « dette morale » étant soit une dette de gratitude (l'obligation -souvent contre son gré- de rembourser un bienfait), soit l'obligation de laver son nom (obligation d'origine prussienne). Le *giri* s'oppose au *ninjō* (人情、にんじょう) c.-à-d. à l'empathie. Le respect des obligations par le *giri* -issu de la culture japonaise- est un sentiment « forcé », en conflit perpétuel avec le sentiment humain pouvant paraître plus « naturel », d'empathie envers autrui. Voir l'annexe 8 pour plus de détails. Source : Abe Namiko, « Giri - Moral obligation », ThoughtCo., 15/06/2018, disponible à l'adresse suivante : <https://www.thoughtco.com/giri-moral-obligation-2028017> (consultée le 13 mars 2019).

communiquer ses excuses à tous pour justement « laver son honneur ». C'est précisément ce qui s'est produit. Chaque japonais doit être responsable des conséquences de ses actes, c.à-d. des conséquences de sa propre faiblesse, de son manque de persévérance et de son inefficacité. La responsabilité personnelle est ainsi prise dans un sens nettement plus énergique au Japon qu'en Occident. Pour plus de détails sur la notion de « dette morale » au Japon, je me réfère à l'annexe 8, laquelle est basée sur l'excellent ouvrage intitulé « le Chrysanthème et le Sabre » de Ruth BENEDICT¹⁰⁹.

De plus, le président de la JAXA Naoki OKUMURA a été l'un des trois personnages officiels qui annonça lors d'une conférence de presse en juin 2016 sa réduction de salaire pendant quatre mois pour « exprimer ses regrets et se forcer à faire attention à l'avenir »¹¹⁰. Depuis lors, le président de la JAXA a été remplacé¹¹¹.

La JAXA ne compte évidemment pas rester sur un échec : un nouveau télescope à rayons X¹¹² devrait être lancé dans le cadre de la *X-ray Astronomy Recovery Mission* (XARM) en collaboration avec la NASA. La mission a été renommée XRISM¹¹³ (*X-Ray Imaging and Spectroscopy Mission*), et son lancement serait prévu en 2021 par une fusée japonaise (un lanceur lourd de type H-IIA).

¹⁰⁹ Source : BENEDICT Ruth, *Le Chrysanthème et le sabre*, Editions Philippe Picquier, 19 mai 1998, 351 p.

¹¹⁰ Source : WITZE Alexandra, « Troubled Japanese space agency seeks fresh start - Push to resurrect instrument lost during satellite failure highlights JAXA's resilience », *Nature*, 29/07/2016, disponible à l'adresse suivante : <https://www.nature.com/news/troubled-japanese-space-agency-seeks-fresh-start-1.20348> (consultée le 18 juillet 2018).

¹¹¹ Le président actuel (au 18/07/2018) de la JAXA est Hiroshi YAMAKAWA. Source : « Message from JAXA president », JAXA, disponible à l'adresse suivante : <http://global.jaxa.jp/about/president/index.html> (consultée le 18 juillet 2018).

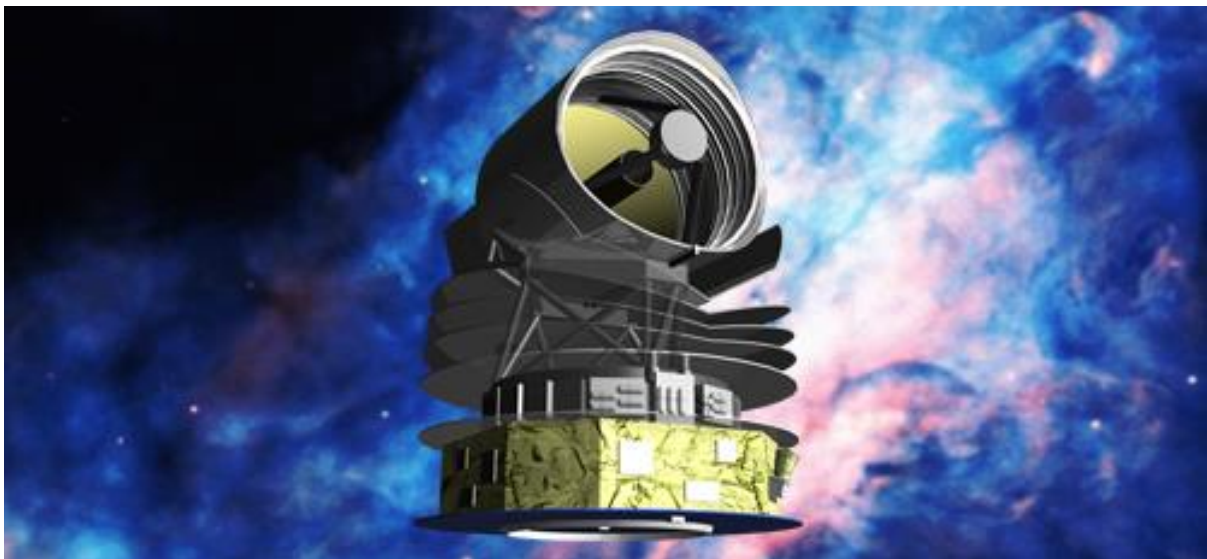
¹¹² Il reprend d'ailleurs une partie de l'instrumentation du télescope *Hitomi*. Source : FOUST Jeff, « NASA and JAXA to develop replacement X-ray astronomy telescope », *Spacenews*, 1st April 2017, disponible à l'adresse suivante : <https://spacenews.com/nasa-and-jaxa-to-develop-replacement-x-ray-astronomy-telescope/> (consultée le 24 juillet 2018).

¹¹³ Source : « About XRISM », NASA, 4/09/2018, disponible à l'adresse suivante : <https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/xrism/about/> (consultée le 18 septembre 2018).

4.2 La vision en infra-rouge - La mission SPICA

La mission SPICA (*Space Infrared Telescope for Cosmology and Astrophysics*) est un projet japonais qui a pour but de nous donner un aperçu des clés de l'histoire de la conception de l'Univers. La conception d'un télescope de grande taille refroidi par cryogénie (le premier télescope en son genre) et muni de capteurs ultra sensibles constitue une combinaison innovante à laquelle la JAXA -associée à de nombreuses universités japonaises- prend activement part (en collaboration avec l'ESA).

L'ESA fournit le télescope. Cependant, le rôle de la JAXA est vital, puisque l'agence spatiale japonaise fournit le système de refroidissement du télescope ainsi que ses capteurs ultra-sensibles. En outre, l'agence spatiale japonaise sera en charge du lancement du télescope dans l'espace en 2027.



Source : « SPICA (*Space Infrared Telescope for Cosmology and Astrophysics*) », JAXA, disponible à l'adresse suivante : <http://www.isas.jaxa.jp/en/missions/spacecraft/future/spica.html> (consultée le 23 juillet 2018).

Comment les galaxies, les planètes et les étoiles se sont-elles formées ? D'où viennent les organismes vivants ? La mission SPICA (*Space Infrared Telescope for Cosmology and Astrophysics*) a pour but de donner des réponses à ces questions.

Il est dès lors nécessaire d'observer ces corps célestes (galaxies, étoiles, planètes), la plupart du temps cachés par de la poussière, laquelle cache la lumière visible et l'ultraviolet. Pour traverser cette poussière, des instruments optiques perfectionnés sont requis (ils permettraient de montrer les empreintes digitales chimiques des étoiles, et ce faisant, de retracer leur histoire). Ainsi les clés de l'évolution de l'histoire cosmique nous seraient enfin -du moins en partie- révélées.

SPICA sera un télescope infrarouge de grande taille étudié par la JAXA en coopération avec l'Agence spatiale européenne. Le lancement a en effet été repoussé en 2027 (initialement prévu pour 2017) principalement pour des raisons d'ordre budgétaire. L'ESA fournit le télescope, cependant le rôle de la JAXA est vital puisque l'agence spatiale japonaise fournit le système de refroidissement du télescope et ses capteurs hypersensibles¹¹⁴.

L'innovation résulte du fait qu'il s'agit d'un large télescope (miroir d'un diamètre de 2,5 mètres) refroidi pour la première fois par cryogénie (pour atteindre une température de -265°C et ainsi empêcher le télescope d'émettre lui-même du rayonnement infrarouge¹¹⁵). Il est muni de détecteurs ultra-sensibles. Le cumul des critères de taille, type de refroidissement et type de détecteurs font l'originalité de SPICA¹¹⁶. SPICA a une durée de vie nominale prévue de trois ans (mais l'on table opérationnellement sur cinq).

Le refroidissement par générateurs cryogéniques est une innovation¹¹⁷, puisque l'on cesse d'utiliser l'hélium liquide. Le refroidissement, à approximativement -270°C, permet de supprimer les radiations émises par le télescope lui-même, et ce faisant, les capteurs embarqués ultra-sensibles peuvent fonctionner sans « bruit parasite ». En outre, le refroidissement permet d'augmenter la durée de vie dudit télescope. SPICA sera ainsi le

¹¹⁴ Source : « SPICA, a candidate for the next class M scientific mission of ESA », Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), 10/05/2018, disponible à l'adresse suivante : <http://www.iac.es/divulgacion.php?op1=16&id=1386&lang=en> (consultée le 23 juillet 2018).

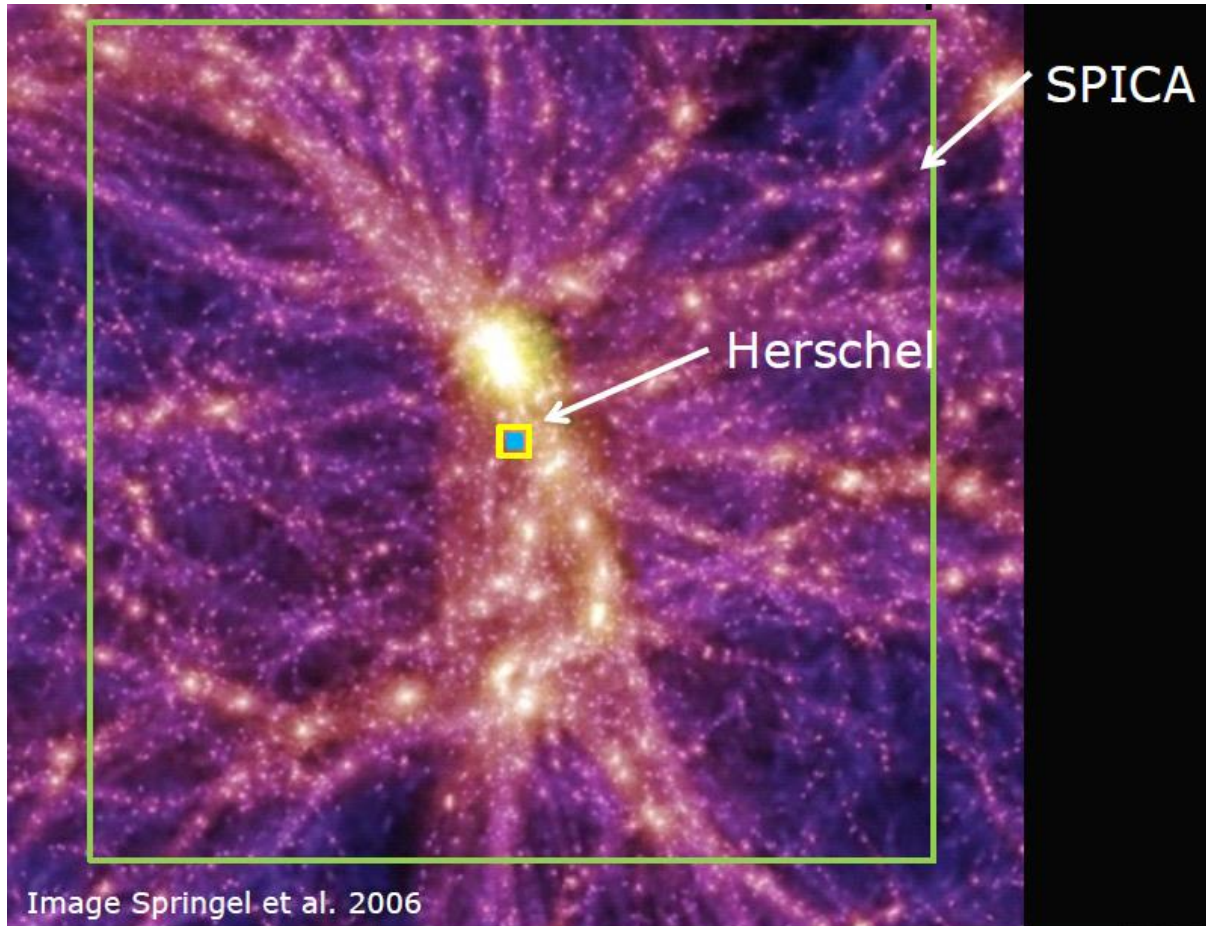
¹¹⁵ -273°C selon l'astrophysicienne Carlotta GRUPPIONI, chercheuse scientifique à l'observatoire astronomique de Bologne étudiant l'instrument spectrométrique SAFARI pour l'ESA. Source : GRUPPIONI Carlotta, (astrophysicienne italienne ayant réalisé son postdoctorat sur les émissions radio dans l'infrarouge moyen et lointain) « SPICA: A Next-Generation Infrared Astronomy Mission », disponible à l'adresse suivante : http://www.bo.astro.it/~carlotta/charly_web/SPICA.html (consultée le 23 juillet 2018).

¹¹⁶ Source : Funaki I., Ogawa H., Onaka T., Oyabu S., Yamada T., Yamamura I., « White paper for SPICA mission in press - SPICA: a large infrared cryogenic space telescope unveiling the obscured universe », Harvard.edu, 2 February 2018, disponible à l'adresse suivante : <http://adsabs.harvard.edu/abs/2018arXiv180310438R> (consultée le 23 juillet 2018).

¹¹⁷ Source : « SPICA, a candidate for the next class M scientific mission of ESA », Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), 10/05/2018, disponible à l'adresse suivante : <http://www.iac.es/divulgacion.php?op1=16&id=1386&lang=en> (consultée le 23 juillet 2018).

tout premier télescope refroidi par cryogénie représentant un réel saut qualitatif en termes d'efficacité¹¹⁸.

SPICA sera nettement plus performant que le miroir du télescope européen Herschel :



La résolution et donc la zone d'étude (vision spectrale) de SPICA sera bien plus large que son prédécesseur européen Herschel.
Source : NAKAGAWA Takao (JAXA), « SPICA mission at its beginning -based on Bruce SWINYARD presentation- », UKSSDC (*UK Solar System Data Centre*), 2009, disponible à l'adresse suivante : https://www.ukssdc.ac.uk/BruceSwinyard/images/Presentations/18_spica_bruce_symp_nakagawa.pdf (consultée le 23 juillet 2018).

SPICA comprend en fait deux types d'instruments spectrométriques¹¹⁹ :

- L'un à longue portée infra-rouge nommé SAFARI (SpicA FAR-infrared Instrument) et développé par un consortium européen (incluant d'ailleurs le CSL, le Centre Spatial de

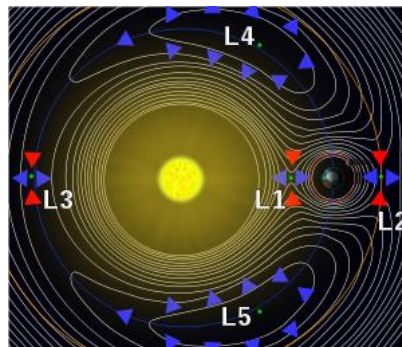
¹¹⁸ Refroidir le miroir permet de le rendre plus efficace en supprimant le bruit sur les données c.à-d. les interférences causées par les émissions thermiques du miroir sur les données. En diminuant le bruit, on peut mesurer des objets plus faibles en flux c.-à-d. des objets moins brillants.

¹¹⁹ Le télescope comprend deux types d'instruments spectrométriques. Source : « A window on the cold Universe: the SPICA mission », SPICA.com, 11/06/2018, disponible à l'adresse suivante : <http://www.spica-mission.org/> et <http://www.spica-mission.org/consortium.html> (consultée le 23 juillet 2018).

Liège¹²⁰) et américain. Les Pays-Bas et l'Espagne constituent le fer de lance de ce consortium, l'Espagne étant pour la première fois, en charge de la conception du volet optique du télescope¹²¹ dans le cadre d'une mission scientifique d'envergure. A l'origine, la JAXA devait concevoir le télescope, mais elle a dû abandonner suite à des problèmes budgétaires. En effet, le projet est estimé à un milliard d'euros (dont la moitié serait pris en charge par l'ESA si le projet est retenu en priorité parmi d'autres projets en compétition pour leur financement respectif)¹²² ;

- L'autre à moyenne portée infra-rouge nommé SMI et développé par un consortium japonais (associant la JAXA et les universités japonaises suivantes : Nagoya, Osaka, Tokyo, Tohoku et Kyoto). L'université de Nagoya est la plus impliquée dans ce projet.

SPICA fera ses observations à partir du point de Lagrange L2¹²³ c.-à-d. à 1,5 million de km de la Terre¹²⁴.



Les points de Lagrange du système Soleil-Terre.

Source : « Les Points de Lagrange », Wikipedia, disponible à l'adresse suivante : https://fr.wikipedia.org/wiki/Point_de_Lagrange (consultée le 23 juillet 2018).

¹²⁰ L'ESA a visité le CSL le 22/01/2018 afin de déterminer si ce dernier pouvait procéder aux tests cryogéniques dans le cadre de la mission SPICA. Source : « Report of Facility visit to Centre Spatial de Liège », JAXA, disponible à l'adresse suivante : http://www.ir.isas.jaxa.jp/SPICA/SPICA_HP/SPICA_hot-en.html#pageLink01-028 (consultée le 23 juillet 2018).

¹²¹ Source : « SPICA, a candidate for the next class M scientific mission of ESA », Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), 10/05/2018, disponible à l'adresse suivante : <http://www.iac.es/divulgacion.php?op1=16&id=1386&lang=en> (consultée le 23 juillet 2018).

¹²² Source : FRANSEN René, « SRON in finals with successor to Herschel satellite », 13 May 2018, University of Groningen, disponible à l'adresse suivante : <https://www.rug.nl/news/2018/05/sron-in-finals-with-successor-to-herschel-satellite?lang=en> (consultée le 23 juillet 2018).

¹²³ Les Points de Lagrange sont cinq points d'équilibre en co-rotation avec la Terre autour du Soleil. En ces points, les forces d'attraction du Soleil et de la Terre sont compensées par la force centrifuge, créant ainsi un environnement sans force effective. Les satellites ne sont pas placés en L2, mais tournent autour de L2 sur des orbites suffisamment vastes pour éviter l'ombre de la Terre. Sinon, il faudrait prévoir une alimentation en énergie électrique ne reposant pas sur les panneaux solaires. Sources : Cours intitulé « Exploration spatiale / Space exploration » - ULiège - Mr Grégor Rauw (2014-2015) : <https://www.programmes.uliege.be/cocoon/cours/SPAT0035-1.html> / « SPICA (Space Infrared Telescope for Cosmology and Astrophysics) », JAXA, disponible à l'adresse suivante : <http://www.isas.jaxa.jp/en/missions/spacecraft/future/spica.html> (consultée le 23 juillet 2018).

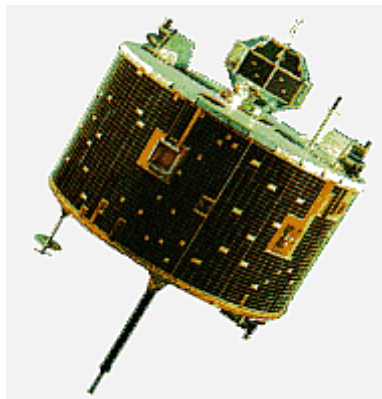
¹²⁴ Source : « The Next-Generation Infrared Astronomy Mission - A Space Observatory 1.5 million km away », JAXA, disponible à l'adresse suivante : http://www.ir.isas.jaxa.jp/SPICA/SPICA_HP/index-en.html (consultée le 23 juillet 2018).

Le lanceur (lourd) devrait être une fusée japonaise de type H-3 à ergols liquides, elle devrait être opérationnelle en 2020 (voir l'annexe 2 pour les lanceurs). Le lancement de la mission SPICA est prévu pour 2027 voire 2028.

4.3 L'innovation résultant d'un échec - La mission *Hiten* (ひてん)

Le Japon est le troisième pays à avoir envoyé une sonde autour de la Lune (mission *Hiten*¹²⁵ en 1990), il brisa donc le monopole américano-russe.

Suite à une situation imprévue, il a fallu faire appel à toute l'ingéniosité et à l'esprit d'innovation japonais pour malgré tout atteindre l'orbite lunaire (en appliquant une théorie allemande datant de 1925 jamais testée en environnement réel). Le trajet Terre-Lune avec un minimum de carburant¹²⁶ fut une manœuvre ingénieuse et innovante de la JAXA permettant de placer en orbite lunaire la sonde *Hiten* et le micro-satellite *Hagoromo*¹²⁷ qu'elle emmena avec elle.



La sonde *Hiten* fut la première sonde lunaire envoyée par un pays autre que les États-Unis et la Russie.

Source : « Hiten », NASA, disponible à l'adresse suivante : <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraftDisplay.do?id=1990-007A> (consultée le 16 juillet 2018).

¹²⁵ *Hiten* (ひてん) peut se traduire par « jeune fille céleste » mais il s'agit du nom d'une nymphe (ange) céleste issue du panthéon bouddhiste.

¹²⁶ Au lieu de 3 jours (trajet le plus court avec le plein de carburant) on utilise 3 mois via une trajectoire indirecte. Cependant en utilisant très peu de carburant et on se servant du point de Lagrange L2, il est théoriquement possible de « se propulser » vers la Lune. La théorie s'avère ainsi être fondée vu le succès de la mission.

¹²⁷ *Hagoromo* (羽衣、はごろも) se traduit par « plumage d'oiseau » ou « manteau de plumes » de l'ange *Hiten*.

La première sonde lunaire japonaise nommée *Hiten* (d'après un ange bouddhiste) fut lancée le 24 janvier 1990 (la première depuis la sonde soviétique *Luna 26* en 1976). Son but était de placer en orbite lunaire le satellite *Hagoromo* (un petit orbiteur) afin de tester les technologies des futures missions lunaires¹²⁸. Alors que *Hiten* était en orbite terrestre elliptique haute, il fallait trouver un moyen de déployer *Hagoromo* en orbite lunaire, mais ce dernier eut des problèmes de communication sévères, si bien que l'on était incapable de le localiser avec précision. Il fallut alors envoyer aussi *Hiten* en orbite lunaire, ce qui n'était pas prévu à l'origine. *Hiten* et *Hagoromo* atteignirent l'orbite lunaire le 2/10/1991, suite à une méthode innovante (la méthode de transfert « à basse énergie »), mais cela nécessita 3 mois au lieu de 3 jours. Ce fut la première fois qu'une méthode de transfert à basse énergie fut utilisée pour atteindre une orbite lunaire¹²⁹. *Hiten* a utilisé les propriétés des points de Lagrange des systèmes Soleil-Terre et Terre-Lune pour effectuer un transfert à basse énergie. C'est en cela qu'il s'agit d'une méthode innovante : la sonde fut d'abord envoyée autour du point de Lagrange L2 dans le système Soleil-Terre, puis la JAXA lui donna une correction de vitesse lui permettant d'atteindre l'orbite lunaire via un transit autour du point de Lagrange L2 dans le système Terre-Lune.

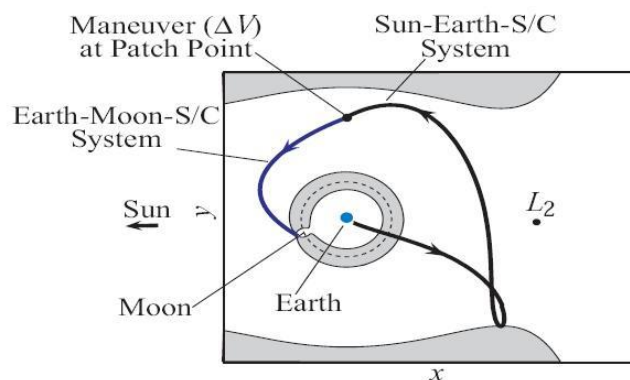


Schéma de la méthode de transfert à basse énergie dans le système Soleil-Terre : (1) Hiten est envoyé autour de L2 dans le système Soleil-Terre et rebondit vers la Terre, (2) la JAXA lui imprime une manœuvre de correction de vitesse au point ΔV , (3) il se dirige alors autour du point L2 dans le système Terre-Lune jusqu'à ce qu'il soit capturé par l'orbite lunaire.

Source : Cours intitulé « Exploration spatiale / Space exploration » - ULiège - Mr Grégor Rauw (2014-2015) : <https://www.programmes.uliege.be/cocoon/cours/SPAT0035-1.html>

¹²⁸ Source : « Hiten », NASA, disponible à l'adresse suivante :

<https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraftDisplay.do?id=1990-007A> (consultée le 16 juillet 2018).

¹²⁹ Edward BELBRUNO et James MILLER, au sein du *Jet Propulsion Laboratory* de la NASA contactèrent la JAXA le 21 juin 1990 (alors que celle-ci n'avait rien demandé) et lui firent part de leur théorie, il lui donnèrent une proposition de trajectoire spécifique non traditionnelle pour *Hiten* afin de placer ce dernier (et donc *Hagoromo*) en orbite autour de la Lune. Cette proposition américaine de transfert à basse énergie fut sérieusement étudiée par la JAXA qui en fit sa propre adaptation et la mit en oeuvre, cela fut un succès. En fait David FOLTA de la branche « dynamique de vol » de la NASA (NASA's Goddard Space Flight Center) lors d'une conférence ultérieure retraçant la mission *Hiten* insista sur le fait que la technique n'était pas neuve mais son implémentation l'était. Source: Foust Jeff, « From chaos, a new order », *The Space Review*, 6/03/2006, disponible à l'adresse suivante : <http://www.thespaceview.com/article/569/1> (consultée le 17 juillet 2018).

Après avoir atteint une orbite lunaire permanente le 15 février 1993, une collision de *Hiten* sur la Lune a été *in fine* volontairement provoquée en avril 1993 pour clôturer la mission.

4.4 La gestion des débris spatiaux - La mission *Kōnotori 6* (こうのとり 6号機)

Seule la JAXA a réalisé une mission test à ce jour¹³⁰ dans le domaine de la gestion des débris spatiaux. Ce qui constitue bel et bien un exemple d'innovation.

ASTROSCALE est la première société privée au monde dont la raison sociale est définie par la gestion des débris spatiaux. Cette société singapourienne a bénéficié de fonds privés japonais (*The Innovative Network of Japan*) et dispose d'un centre de recherche et développement basé au Japon. Son satellite de détection des micro-débris spatiaux a d'ailleurs été développé par la JAXA.

4.4.1 La nature des problèmes causés par les débris spatiaux

4.4.1.1 Introduction

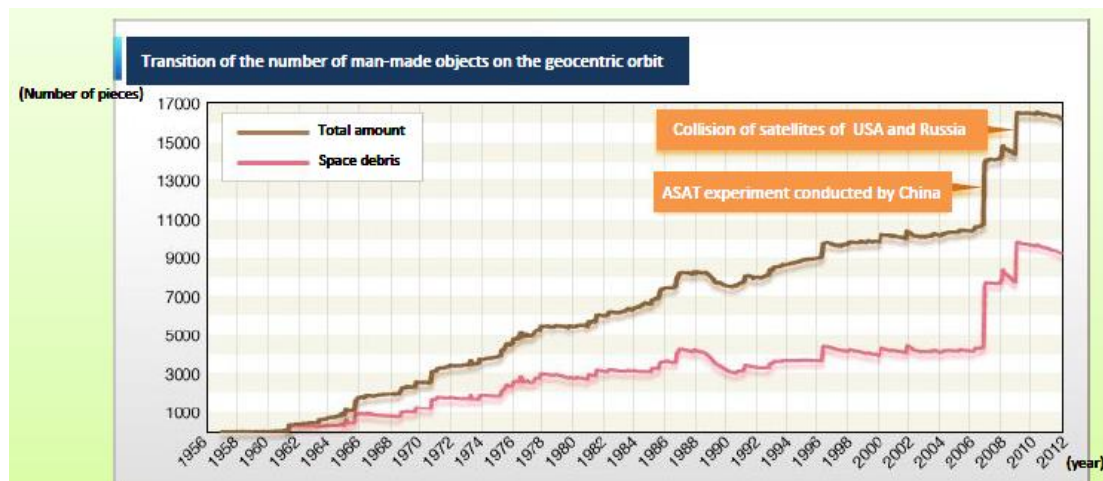
Qu'entend-on par débris ? Il s'agit principalement des débris générés par l'activité humaine c.-à-d. de satellites (en fin de vie, voire des débris générés par des collisions provoquées ou bien encore de destruction causée par une arme antisatellite) ou de fusées.

Un des premiers lanceurs d'alerte à ce sujet fut de nationalité japonaise, il s'agissait du professeur NAGATOMO en 1971¹³¹, même s'il ne fut pas pris au sérieux dans son propre pays vu le faible nombre de débris à l'époque (près de deux mille) alors que ce professeur soulignait fort justement d'ailleurs le risque de collision causé par ces débris avec les satellites opérationnels.

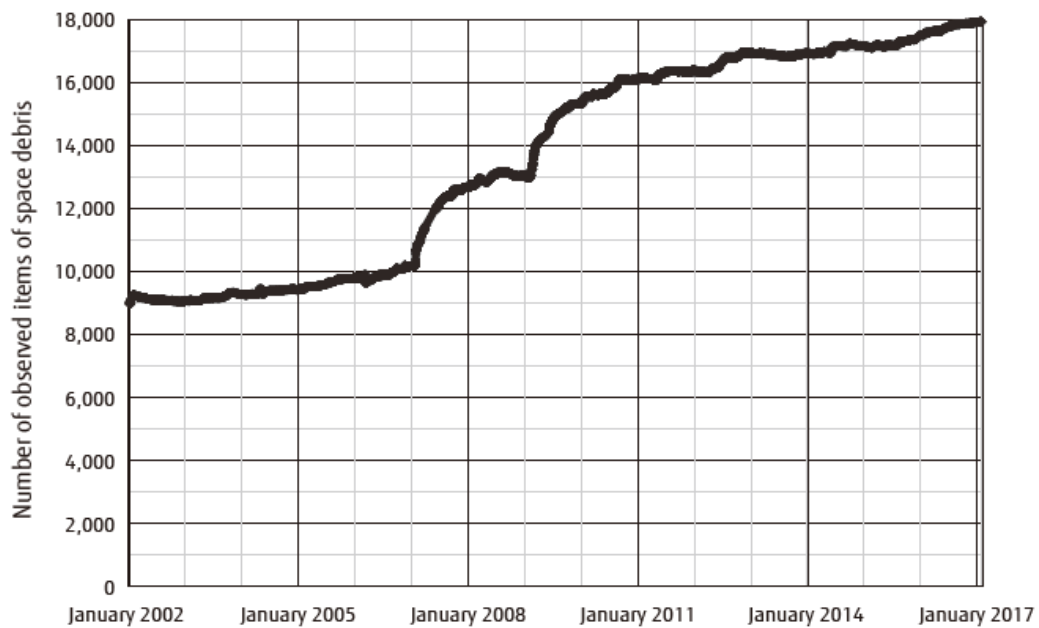
¹³⁰ Il s'agit d'aller chercher/récupérer les satellites à éliminer (tous situés en orbite basse) afin de la placer sur une autre orbite non utilisée plus basse qui devrait mener à la destruction naturelle de ceux-ci (ils se consumeraient dans l'atmosphère terrestre).

¹³¹ Il a fallu attendre 1995 (9.000 objets en orbite basse représentant une masse de 3.800 tonnes) pour qu'un standard en termes de ligne de conduite concernant la gestion des déchets dans l'espace soit publié par la NASA, suivi l'année suivante par les « space debris mitigation guidelines » de la NASDA. Sources : International Academy of Astronautics, « A Handbook for Post-Mission Disposal of Satellites Less Than 100 kg », edited by Rei KAWASHIMA and Darren MCKNIGHT , May 2019, disponible à l'adresse suivante : <http://www.iaaweb.org/iaa/Scientific%20Activity/sg423finalreport.pdf> (consultée le 25 juin 2019) / Interview de monsieur Tetsuo YASAKA, professeur émérite de l'Université de Kyushu et ancien vice-président de la Fédération Internationale Aéronautique (12/06/2019).

Le nombre de débris spatiaux ne cesse de s'accroître au cours du temps :



Source : « Ministry of Foreign Affairs of Japan - Outer Space », Japan's Space Diplomatic Policy, Ministry of Foreign Affairs of Japan, https://www.mofa.go.jp/policy/outer_space/pdfs/space_diplomatic_policy.pdf (consultée le 20 juillet 2018).



Source : ADACHI Gaku, OHNISHI Takafumi, KAMEYAMA Masaya (members of JAXA), « Achievements on Space Debris Observations », FUJITSU Sci. Tech. J. Vol. 53 n°. 3, April 2017, disponible à l'adresse suivante : <http://www.fujitsu.com/global/documents/about/resources/publications/fstj/archives/vol53-3/paper08.pdf> (consultée le 4 juillet 2018).

Combien y a-t-il de débris ? Plus de 17.000¹³² ont été répertoriés (de taille *minimum* de 10 cm), mais si l'on prend les débris inférieurs à 1 cm, il pourrait y en avoir cent millions¹³³. 70 à 80% des débris sont situés en orbite basse¹³⁴.

¹³² 20.000 débris selon la JAXA. Source : « Space Situational Awareness (SSA) System », JAXA, disponible à l'adresse suivante : <http://global.jaxa.jp/activity/pr/brochure/files/engineering06.pdf> (consultée le 29 juin 2018).

Pourquoi est-ce un problème ?

Les débris constituent un problème en raison de leur grande vitesse de déplacement (8 km/s) qui leur confère une énergie suffisante pour détruire les engins spatiaux (par exemple la station spatiale internationale, les satellites, les fusées¹³⁵). La présence de débris empêche de placer d'autres satellites sur certaines orbites. De plus, ils peuvent toucher un astronaute pouvant provoquer la mort de ce dernier en ayant causé un trou dans sa combinaison ou au niveau de son casque¹³⁶. Ainsi en juin 2011, l'astronaute japonais Satoshi FURUKAWA (chirurgien de profession, mais assumant la fonction d'ingénieur de vol) était un des six membres de l'ISS qui a dû se réfugier *in extremis* derrière un engin Soyouz arrimé à la station spatiale car un morceau de débris venait dangereusement près de sa position¹³⁷. Heureusement, aucun débris ne toucha non plus l'ISS. Jusqu'à présent, les satellites de la JAXA n'ont pas eu à souffrir des débris spatiaux, mais comme le nombre de débris ne cesse d'augmenter, cette situation risque de ne pas durer. La présence de débris doit donc pouvoir être détectée à temps, afin d'éviter les accidents (et décider d'empêcher un lancement par exemple), par un système de détection performant. Une fois détectés, la JAXA comme les autres agences spatiales, procède à des calculs mathématiques afin de prédire le mouvement de ces débris et d'éviter ainsi des impacts potentiels. Rappelons que les débris de grande taille posent moins de problèmes, car on peut les voir aisément et donc les éviter¹³⁸.

¹³³ 150 millions de débris d'un poids total de 7.000 tonnes (celui de la Tour Eiffel) selon certaines sources. Source : TANGUY Vincent, « Les technologies de pointe pour en finir avec les débris spatiaux », Sciences et Avenir, 13/09/2017, disponible à l'adresse suivante : https://www.sciencesetavenir.fr/espace/les-technologies-de-pointe-pour-en-finir-avec-les-debris-spatiaux_116267 (consultée le 26 juillet 2018).

¹³⁴ Il y aurait plus de 17.000 débris supérieurs à 10 cm. Source : MATSUURA Mayumi (Project Manager Space Situation Awareness System), « Preventing collisions between debris and spacecrafts », JAXA, 26/04/2017, disponible à l'adresse suivante : <http://global.jaxa.jp/article/2017/special/debris/matsuura.html> (consultée le 25 juillet 2018).

¹³⁵ En 1996, un satellite français a été heurté par un débris de fusée. Source : TANGUY Vincent, « Les technologies de pointe pour en finir avec les débris spatiaux », Sciences et Avenir, 13/09/2017, disponible à l'adresse suivante : https://www.sciencesetavenir.fr/espace/les-technologies-de-pointe-pour-en-finir-avec-les-debris-spatiaux_116267 (consultée le 26 juillet 2018).

¹³⁶ Le film Gravity met en scène ce danger même s'il comporte une légère erreur (un astronaute n'a pas le temps de voir arriver de loin des débris vu leur grande vitesse de déplacement (8 km par seconde soit 10 fois la vitesse d'une balle tirée d'une arme à feu). Source : « Gravity », Warnerbros.com, 4 October 2013, disponible à l'adresse suivante : <https://www.warnerbros.com/gravity/index> (consultée le 10 septembre 2018).

¹³⁷ Source : MATSUURA Mayumi (Project Manager Space Situation Awareness System), « Preventing collisions between debris and spacecrafts », JAXA, 26/04/2017, disponible à l'adresse suivante : <http://global.jaxa.jp/article/2017/special/debris/matsuura.html> (consultée le 25 juillet 2018).

¹³⁸ Il y aurait plus de 17.000 débris supérieurs à 10 cm, cela doit être vrai puisque deux sources différentes le cautionnent (dans et en dehors de la JAXA). Source : OKADA Nobu (Founder and CEO of ASTROSCALE), « Harnessing the Power of the Private Sector to Clean Up Space Junk », JAXA, 26/04/2017, disponible à l'adresse suivante : <http://global.jaxa.jp/article/2017/special/debris/okada.html> (consultée le 25 juillet 2018).

C'est pourquoi juridiquement le droit international¹³⁹ (article 11 du traité de 1967 régissant les activités des États en matière d'exploration et d'utilisation de l'espace extra-atmosphérique) prévoit certaines obligations. Signalons, pour chaque agence spatiale, celle d'informer à l'avance le Secrétaire Général de l'ONU et la communauté scientifique internationale c.-à-d. toutes les autres agences spatiales, de ses propres dates de lancement et de la position orbitale choisie une fois dans l'espace.

Cependant il n'existe toujours pas à ce jour de règle juridique imposant la manière dont les débris spatiaux peuvent être détruits. Ce qui constitue un grand défi pour toute société ayant cette activité comme objet social (voir la section 4.4.6 sur la privatisation de la gestion des déchets spatiaux et en particulier le rôle de la société ASTROSCALE).

Deux évènements majeurs ont eu un impact sur ce que l'on peut bien appeler la « pollution spatiale » en orbite basse, une arme antisatellite chinoise en 2007 (détruisant un de ses propres satellites) et une collision non provoquée entre deux satellites (un américain et un russe) en 2009. La prolifération du nombre de satellites¹⁴⁰ augmente aussi statistiquement le risque de collision entre ceux-ci et donc de déchets spatiaux ainsi générés.

Le tir ASAT (Arme antisatellite) chinois de 2007 a eu des conséquences en termes de pollution de l'espace¹⁴¹. C'est aussi le cas pour la collision accidentelle entre un satellite

¹³⁹ Les puissances spatiales collaboreront toujours dans le cadre de la gestion des menaces contre leurs satellites. Lancer un satellite dans l'espace est une activité dangereuse. Ceci explique d'ailleurs l'accord unanime concernant les normes internationales de sécurité (traité Onusien de 1967) liées aux satellites (ex: obligation de prévenir les autres pays lors d'un lancement afin de calculer les trajectoires de lancement sans risque dans le but d'éviter une collision avec un « déchet spatial », obligation de prévoir du carburant complémentaire pour assurer le désorbitage et la destruction complète du satellite lors de sa rentrée dans l'atmosphère, systèmes de renforcement structurels des satellites, surveillance conjointe des satellites avec d'autres puissances spatiales, ...). Source : « Traités et principes des Nations unies relatifs à l'espace extra-atmosphérique - Traité sur les principes régissant les activités des États en matière d'exploration et d'utilisation de l'espace extra-atmosphérique, y compris la Lune et les autres corps célestes », Nations unies, New York, 2002, disponible à l'adresse suivante : <http://www.unoosa.org/pdf/publications/STSPACE11F.pdf> (consultée le 15 novembre 2014).

¹⁴⁰ Les prévisions en termes de lancement de constellation de satellites en orbite basse par le secteur privé sans même parler des agences spatiales nationales (par exemple des satellites permettant la connection internet à haut débit par la société privée *One Web*) sont alarmantes, elles accroissent statistiquement le risque de collision et donc de débris spatiaux. Source : PIRARD Théo, « New Space, made in China - Cap sur un nouvel âge spatial », Société Astronomique de Liège), 30/11/2018, disponible à l'adresse suivante : <http://www.societeastronomique.ulg.ac.be/a-decouvrir/conferences/> (consultée le 30 octobre 2018).

¹⁴¹ 2.688 débris ont été répertoriés suite à cet incident. Source : « Liste des débris spatiaux générés par le tir ASAT chinois de 2007 selon les données du NORAD (*North American Aerospace Defense Command*) », CelesTrack.com, disponible à l'adresse suivante : <http://www.celestrak.com/NORAD/elements/1999-025.txt> (consultée le 26 août 2015). Il est vraisemblable que ce tir militaire n'ait pas eu lieu en concertation avec la communauté civile spatiale chinoise, car elle s'y serait opposée puisque diplomatiquement ce tir nuit fortement à la crédibilité du pays. En effet après un tel désastre « écologique » comment justifier alors le rôle de la Chine au sein du Comité Interagences sur les Débris Spatiaux (IADC) ? Et comment justifier alors la position de la Chine promouvant au sein du COPUOS la nécessité d'interdire toute forme d'activité « agressive » dans l'espace si elle ne donne pas elle-même l'exemple ? Source : ULg : « Exploration spatiale / Space exploration » - Mr Grégor Rauw (2014-2015) : <https://www.programmes.uliege.be/cocoon/cours/SPAT0035-1.html>.

américain (Iridium-33¹⁴²) et un satellite russe (Cosmos-2251¹⁴³) en 1999. Dans les deux cas de figure, ces débris (ces deux derniers événements ont généré autant de débris que les vingt-deux années précédentes) empêchent l'utilisation de toute une gamme d'orbites basses par l'ensemble de la communauté internationale (y compris pour la Chine d'ailleurs) et peuvent perturber le fonctionnement des services spatiaux existants des autres puissances (télécoms, météo, navigation).

De plus, des débris génèrent d'autres débris, leur prolifération en orbite à partir d'un certain seuil est statistiquement prédictible (réaction en chaîne décrite sous le nom de « syndrome de Kessler¹⁴⁴ »). La question est de savoir si le nombre de débris créés est supérieur au nombre de débris détruits lors de leur retour dans l'atmosphère terrestre. Selon les prévisions de Kessler, les orbites comprises entre 800 et 1.000 km sont compromises ; dès lors, soit on limite la prolifération des débris, soit on accepte une durée de vie plus courte des engins mis en orbite.

La Chine -à condition de renoncer à certaines orbites pour elle-même- pourrait délibérément détruire les satellites adverses afin d'en augmenter le nombre de débris (tablant sur un effet de réaction en chaîne¹⁴⁵) pour rendre une vaste zone spatiale inutilisable à un adversaire doté d'une supériorité spatiale (USA) : c'est la notion d'« interdiction spatiale » (*space denial* en anglais) dans le cadre d'une stratégie en dernier ressort « du faible au fort ».

Que fait alors le Japon pour résoudre ce problème spatio-environnemental créé de toute pièce par l'homme ? La JAXA suit le mouvement des débris et les détruit le cas échéant en utilisant des méthodes innovantes.

¹⁴² 467 débris. Source : « Liste des débris du satellite américain Iridium-33 selon le NORAD (*North American Aerospace Defense Command*) », CelesTrack.com, disponible à l'adresse suivante : <http://www.celestrak.com/NORAD/elements/iridium-33-debris.txt> (consultée le 26 août 2015).

¹⁴³ 1.210 débris. Source : « Liste des débris du satellite russe Cosmos-2251 selon le NORAD (*North American Aerospace Defense Command*) », CelesTrack.com, disponible à l'adresse suivante : <http://www.celestrak.com/NORAD/elements/cosmos-2251-debris.txt> (consultée le 26 août 2015).

¹⁴⁴ Donald J. Kessler était chercheur à la NASA. C'est le journaliste J. Gabbard qui a créé cette expression de « syndrome de Kessler ».

¹⁴⁵ C.-à-d. un effet amplifié par le « syndrome de Kessler ».

Le monitoring des débris spatiaux

Le sujet suivant est fortement inspiré d'un article rédigé par trois membres scientifiques de la JAXA au sujet des technologies de la société Fujitsu¹⁴⁶.

La JAXA procède seule, mais aussi avec d'autres agences spatiales (en particulier la NASA), au *monitoring* (suivi) de débris spatiaux via des observatoires munis de radars (en charge de l'orbite basse) et de télescopes optiques (en charge de l'orbite géostationnaire¹⁴⁷).

Bien évidemment, obtenir les données orbitales est une chose, les traiter en est une autre. L'analyse prédictive des trajectoires des débris a pour but d'éviter des collisions avec des satellites et d'éviter des dommages majeurs sur Terre (lors de leur rentrée dans l'atmosphère terrestre). Un système d'analyse des données (au *Tsukuba Space Center*¹⁴⁸) est donc couplé aux observations faites par les radars (au *Bisei Space Guard Center*¹⁴⁹) et télescopes optiques (au *Kamisaibara Space Guard Center*¹⁵⁰) :

- Les radars permettent de prédire les collisions entre débris et de modifier si nécessaire, donc de manière préventive, tant la trajectoire des satellites en orbite basse que la trajectoire du module de transport japonais (*Kōnotori*) permettant le ravitaillement de la station spatiale internationale. Ainsi toute collision indirecte, c.-à-d. entre débris pouvant causer un danger aux satellites ou au module de transport, ou toute collision directe entre les débris d'une part et les satellites ou le module de transport d'autre part, est simulée mathématiquement puis prise en compte dans le processus de décision

¹⁴⁶ Fujitū en rōmaji, (ふじつう en hiragana) mais plus connu sous la forme Fujitsu. *Source* : ADACHI Gaku, OHNISHI Takafumi, KAMEYAMA Masaya (members of JAXA), « Achievements on Space Debris Observations », FUJITSU Sci. Tech. J. Vol. 53 n°. 3, April 2017, disponible à l'adresse suivante : <http://www.fujitsu.com/global/documents/about/resources/publications/fstj/archives/vol53-3/paper08.pdf> (consultée le 4 juillet 2018).

¹⁴⁷ L'orbite géostationnaire, abrégée GEO (*geostationary orbit*) est une orbite située à 35 784 km d'altitude au-dessus de l'équateur de la Terre, dans le plan équatorial et d'une excentricité orbitale nulle. Elle s'oppose à l'orbite basse (altitude inférieure à 1 000 km) principalement occupée par les satellites d'observation de la terre et les stations spatiales. Un satellite en orbite géostationnaire fait le tour de la Terre en 25 heures. Vu depuis le sol, il occupe donc une position fixe dans le ciel. L'orbite géostationnaire est principalement utilisée par les satellites de télécommunications et de météorologie.

¹⁴⁸ Le *Tsukuba Space center*, *Tsukuba uchū sentā* (筑波宇宙センター、つくばうちゅうセンター) ou « centre spatial de Tsukuba » se situe dans la préfecture d'Ibaraki, à 50 km au nord-est de Tokyo.

¹⁴⁹ Le *Bisei Space Guard Center*, *Bisei supēsugādo sentā* (美星スペースガードセンター) ou « centre spatial de surveillance de Bisei » se situe dans la préfecture d'Okayama.

¹⁵⁰ Le *Kamisaibara Space Guard Center*, *Kamisaibara supēsugādo sentā* (上斎原スペースガードセンター) ou « centre de surveillance spatiale de Kamisaibara », se situe dans la préfecture d'Okayama.

lié à la gestion des risques. Le module *Kōnotori* est aussi observé par la NASA en coopération avec la JAXA. Les radars permettent également de prédire la rentrée des débris dans l'atmosphère terrestre et leur point de chute sur Terre. Les télescopes optiques font leurs observations de nuit par souci d'efficacité (cela permet de mieux voir les débris puisqu'à ce moment la lumière solaire se reflète sur eux sans aucune altération liée aux conditions d'observation diurnes).

- Radars et télescopes optiques permettent de suivre les données orbitales d'un satellite dont le système de télécommunication est déficient c.-à-d. ne permettant plus de communiquer avec sa station de base. Le satellite en question étant ainsi localisé pourrait être plus facilement repris sous le contrôle de son propriétaire (pour autant naturellement que la station de base puisse de son côté encore communiquer avec le satellite).

L'observation des données et le traitement de celles-ci contribue ainsi à « rendre l'espace plus sûr »¹⁵¹.

La société Fujitsu emploie des technologies innovantes¹⁵² dans le cadre de la conception des radars et des télescopes optiques, permettant la localisation des débris dans l'espace, la prédiction de localisation des débris en cas de collision et/ou en cas de rentrée dans l'atmosphère terrestre. Ces technologies concernent : (1) la technologie de calcul permettant de prédire la position des débris (et donc leur orbite), (2) la technologie utilisée pour améliorer la précision des observations et *in fine*, (3) la technologie permettant l'optimisation des plans d'observations (savoir où observer, quand observer et pendant combien de temps). Ce mémoire n'ayant pas de vocation technique, j'épargnerai aux lecteurs les détails de ces innovations, je me contenterai d'en dresser les grandes lignes.

- La technologie permettant de prédire la position des débris dans l'espace (et donc leur orbite) est innovante. Mais surtout elle est efficace, car des tests l'ont démontré. Les radars et télescopes japonais situés sur Terre ont eu pour mission de suivre, avec la plus

¹⁵¹ *Make a safer space* en anglais. Source : « Space Situational Awareness (SSA) System », JAXA, disponible à l'adresse suivante : <http://global.jaxa.jp/activity/pr/brochure/files/engineering06.pdf> (consultée le 29 juin 2018).

¹⁵² Source : ADACHI Gaku, OHNISHI Takafumi, KAMEYAMA Masaya (members of JAXA), « Achievements on Space Debris Observations », FUJITSU Sci. Tech. J. Vol. 53 n°. 3, April 2017, disponible à l'adresse suivante : <http://www.fujitsu.com/global/documents/about/resources/publications/fstj/archives/vol53-3/paper08.pdf> (consultée le 4 juillet 2018).

grande précision possible, deux satellites de la JAXA. Le satellite géostationnaire de la classe *Michibiki*¹⁵³ (situé à une altitude de 36.000 km) fut trouvé avec un taux d'erreur limité à 0,95 km. Le satellite en orbite basse de la classe *Daichi*¹⁵⁴ (situé à une altitude de 890 km) fut trouvé avec un taux d'erreur limité à 0,037 km.

- La technologie utilisée permet de déterminer avec soin le moment de l'observation, c.-à-d. la distance idéale à partir de laquelle un débris doit être observé par radar pour obtenir une observation de qualité optimale. De plus, la méthode d'observation tient compte des erreurs de calculs (en orbite basse la probabilité d'erreur de calcul de trajectoire augmente) ; dès lors, de multiples observations dans des directions différentes proches du débris sont observées pour définir sa trajectoire la plus probable avec une précision maximale, cela est d'autant plus utile lorsque le débris est sur le point de rentrer dans l'atmosphère terrestre.
- L'optimisation des plans d'observation est rendue possible par une technologie également innovante. Ainsi, en cas de mouvement d'un débris vers un satellite géostationnaire, l'observation dudit débris doit se faire idéalement trois semaines avant une collision potentielle afin de s'assurer d'une absence de danger pour le satellite. Si le but est d'observer tout objet dans une orbite précise alors une observation unique par an peut suffire (avec des techniques de planification efficaces d'observation).

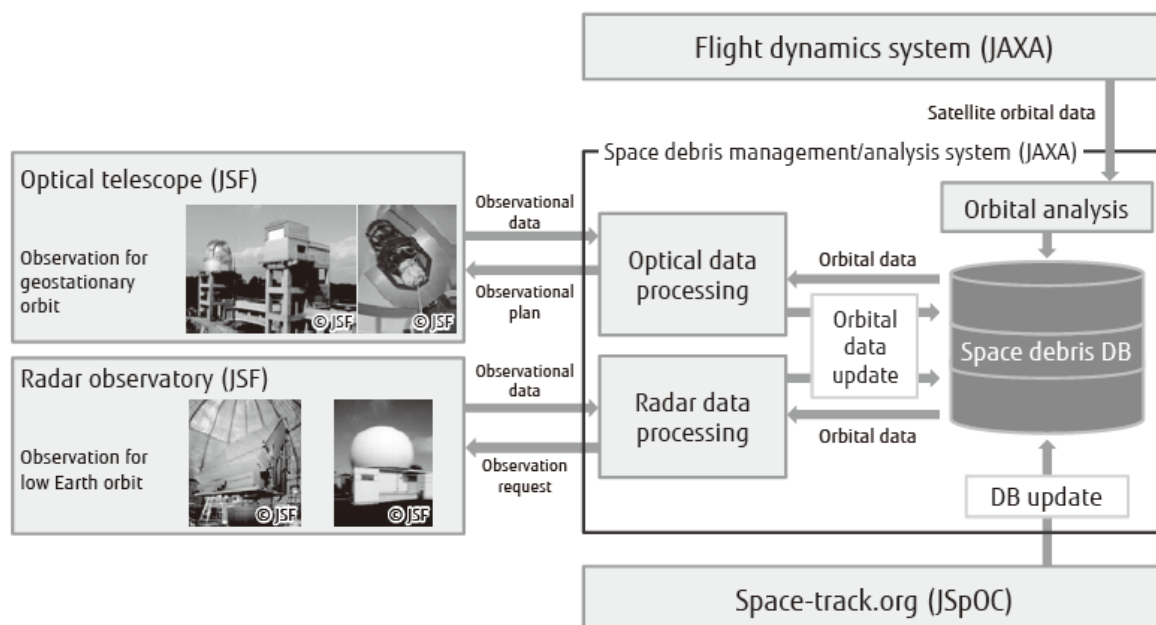
Puisque malheureusement le nombre de débris s'accroît sans cesse, la JAXA n'a d'autre choix que d'améliorer l'efficacité de son planning d'observation¹⁵⁵, de la technologie de ses outils d'observation (radars et télescopes) afin d'améliorer la précision de ses observations¹⁵⁶ (notamment par l'identification automatisée de celles-ci) mais aussi afin d'avoir la possibilité d'examiner un plus grand nombre de données (notamment par le traitement automatisé de celles-ci).

¹⁵³ *Michibiki* (導き、みちびき) signifie « orientation ».

¹⁵⁴ *Daichi* (大地、だいち) signifie « terre » ou « sol ».

¹⁵⁵ Ce qui revient à augmenter et à automatiser la fréquence des observations. Ainsi on pourrait passer de deux cents observations par jours à dix mille. Source : « Space Situational Awareness (SSA) System », JAXA, disponible à l'adresse suivante : <http://global.jaxa.jp/activity/pr/brochure/files/engineering06.pdf> (consultée le 29 juin 2018).

¹⁵⁶ Ainsi un radar pourrait observer des objets de classe de 10 cm au lieu des 1,6 mètres actuels à une altitude de 650 km (donc en orbite basse). Source : *Ibid.*



Description simplifiée du système de gestion des débris spatiaux par la JAXA.

Source : ADACHI Gaku, OHNISHI Takafumi, KAMEYAMA Masaya (members of JAXA), « Achievements on Space Debris Observations », FUJITSU Sci. Tech. J. Vol. 53 n°. 3, April 2017, disponible à l'adresse suivante : <http://www.fujitsu.com/global/documents/about/resources/publications/fsti/archives/vol53-3/paper08.pdf> (consultée le 4 juillet 2018)

La destruction des satellites dans l'espace

La JAXA emploie également des méthodes innovantes de destruction de satellites à partir de l'espace extra atmosphérique. Ces sujets sont développés dans les sections 4.4.3 à 4.4.5.

4.4.2 L'aspect juridique

La pollution de l'espace en orbite basse est un problème reconnu. C'est pourquoi le COPUOS¹⁵⁷ a rédigé une *soft law* (loi dont le respect n'est pas impératif) dans le but de sensibiliser les agences spatiales à la problématique de la gestion des déchets dans l'espace. Cette loi porte le nom de *Space Debris Mitigation Guidelines* (les lignes directrices sur la réduction des déchets spatiaux), elle a été approuvée par les Nations unies en 2007. Cette loi concerne tant les débris d'objets militaires que civils. Elle comporte notamment les

¹⁵⁷ Le COPUOS est à la base des fondements du « droit de l'espace », il interdit par exemple l'utilisation d'armes nucléaires ou de destruction massive dans l'espace, ou encore il impose aux agences spatiales de prévenir les autres agences lors de l'envoi d'un satellite en orbite basse afin de ne pas se gêner mutuellement, il définit aussi la responsabilité des États lors des retombées de débris spatiaux sur Terre. Le COPUOS compte 84 pays dont le Japon. Source : « The United Nations Committee on Peaceful Uses of Outer Space (Copus) », disponible à l'adresse suivante : <http://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/copus/index.html> (consultée le 23 septembre 2015) et <http://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/copus/members/evolution.html> (consultée le 20 juillet 2018).

points suivants : les fusées et satellites devraient être conçus afin de générer le moins de débris possible, les satellites en orbite basse devraient rentrer dans l'atmosphère terrestre dans les 25 ans qui suivent le terme de leur mission¹⁵⁸.

En 2008, l'Union Européenne voulut aller plus loin et créer un véritable code de conduite (couvrant les débris civils et militaires) dont le respect aurait été impératif. En 2012, le Japon fait plus que donner son accord de principe, en effet il désire même participer à sa conception. En 2015, l'Union Européenne négocie le code de conduite à l'ONU devant 109 pays. La tâche est difficile car le texte doit correspondre à des attentes variables (y compris celle des pays en développement considérés comme égaux par rapport à des pays plus avancés scientifiquement) afin d'arriver à un consensus. Ces difficultés expliquent pourquoi malheureusement aucun accord formel international à portée impérative n'existe encore actuellement¹⁵⁹, seules les *guidelines* à portée non impérative ont été approuvées à ce jour.

Il est utile de mentionner que les *guidelines* de l'ONU datant de 2007 sont basées sur un précédent travail de la NASDA, l'ancêtre de la JAXA : les *guidelines* de 2001 (*IADC Space Debris Mitigation Guidelines*)¹⁶⁰. Le Japon a donc un rôle moteur dans la coopération

¹⁵⁸ On pourrait objecter que cela ne fait que reporter le problème à plus tard. Cependant cette durée de 25 ans donne pour la première fois une limite à la durée au cours de laquelle un satellite non-opérationnel est susceptible de générer des débris.

¹⁵⁹ Selon Maître Daniel PRICKEN, avocat spécialiste en droit international, (1) un accord international à portée contraignante est fort improbable voire utopique au vu des sommes colossales à investir par un État dans le domaine spatial surtout sans la moindre garantie d'une contrepartie proportionnelle aux efforts financiers consentis. (2) De plus, à supposer même qu'un tel accord existe, le problème majeur en droit international sera son exécution en cas de litige (et plus précisément l'absence de garantie de l'exécution d'un jugement pris par un tribunal international). Monsieur Tada HIDEAKI, professeur de droit de l'université de Tokyo partage le même point de vue. En outre, (3) selon Monsieur Seishiro KIBE, ancien vice-président de la Fédération Internationale Aéronautique, il est économiquement plus rentable d'utiliser le carburant initialement prévu à la PMD (*Post Mission Disposal* c.-à-d. l'élimination du satellite une fois la mission terminée) à une toute autre fin : la prolongation des activités opérationnelles du satellite au-delà de sa durée de vie nominale. Enfin, Monsieur Jean-Pierre CONTZEN, donne à l'argument économique précédent un aspect politique : (4) l'opposition à un accord contraignant s'expliquerait par la volonté délibérée chez d'aucuns de maintenir la porte ouverte à la militarisation de l'espace (ainsi, les satellites d'observation, d'écoute électronique et d'alerte ainsi que les satellites de télécommunications devraient pouvoir fonctionner le plus longtemps possible c.-à-d. au-delà de leur durée de vie nominale). Monsieur CONTZEN, ingénieur et physicien nucléaire, est Président de l'Institut von Karman de Dynamique des fluides et Président de la fondation Scientifique Nansen de Saint Pétersbourg. Sources : PRICKEN Daniel et ELLOUZE Thameur, « Le droit de l'Espace », Société Astronomique de Liège), 26/10/2018, disponible à l'adresse suivante : https://www.campus.uliege.be/cms/c_10370087/fr/me-daniel-pricken-et-me-thameur-ellouze-le-droit-de-l-espace (consultée le 8 octobre 2018) / HIDEAKI Tada, « Introduction au droit japonais. Conceptions et réformes avant et après la Restauration de Meiji », Toyo University, 20/03/2019 (dans le cadre du cours ULiège : « Dynamiques socioculturelles de l'Asie orientale » - Mr Andreas Thele (2018-2019) : <https://www.programmes.uliege.be/cocoon/cours/ASIE0023-1.html>) / Interview du Docteur Seishiro KIBE, ex-conseiller scientifique principal à la JAXA (département Recherche et Relations Internationales) et ancien vice-président de la Fédération Internationale Aéronautique (12/06/2019) / CONTZEN Jean-Pierre, *Les menaces venant de l'espace*, Editions Académie royale de Belgique, Mars 2014, p. 62.

¹⁶⁰ Le COPUOS publia en 1999 le *Technical Report on Space Debris*. La NASDA proposa à de créer un standard universel (une méthode technique) pour la réduction des débris spatiaux. La NASDA pris le leadership de ce projet d'autant plus facilement qu'elle avait déjà rédigé dès 1996 des *guidelines* d'abord exclusivement japonaises (la NASDA fut d'ailleurs une des premières agences spatiales à le faire). Elle rédigea des *guidelines* à portée internationale en 2001 (inspirées de celles

internationale sur un plan juridique. Ces guidelines ont été révisés en 2011 de manière à être équivalents à la norme de standardisation ISO 24.113¹⁶¹. Cette norme est imposée aux constructeurs d'engins spatiaux pour la JAXA afin de limiter le nombre de débris en cas de destruction pendant leur vie en orbite¹⁶² ; ainsi, un plan de gestion des débris doit impérativement être fourni et approuvé par la JAXA. Cette norme prévoit d'autres mesures telles que, entre autres : le changement d'orbite des engins spatiaux ayant terminé leur mission en orbite géostationnaire en les plaçant au-delà de l'orbite géostationnaire, la réduction de la vie en orbite de tout système spatial ayant terminé sa mission et par voie de conséquence l'obligation de réduire au maximum sa présence en orbite basse, la prévention de toute forme d'accident corporel lors de la descente de débris sur Terre, la prévention des dommages en cas de collision en orbite avec un autre satellite ou engin spatial, ...¹⁶³

Monsieur Michiru NISHIDA (conseiller au Ministère japonais des affaires étrangères, spécialiste du désarmement et de la non-prolifération nucléaire) pense que le Japon peut réussir à imposer un standard technique dans la gestion de la diminution des débris spatiaux si la méthode testée par la JAXA s'avère être un succès. Il souligne que les premiers constructeurs automobiles ont imposé leur standard, il en va de même pour la technologie spatiale, dit-il¹⁶⁴. Malheureusement la méthode japonaise n'a, pour l'instant, pas encore donné lieu au résultat escompté (voir le chapitre 4.4.4). Il souligne également qu'un succès en la matière améliorerait l'image du Japon déjà positive, car le pays est une puissance spatiale développant des projets « par nature pacifiques ». Je peux concéder qu'un succès technologique peut s'avérer être aussi un succès diplomatique contribuant ainsi au *soft power* de l'Empire du Soleil Levant.

de 1996), elles furent approuvées par onze agences spatiales (*the IADC Space Debris Mitigation Guidelines*) et servirent de base aux *guidelines* approuvées par l'ONU en 2007. Source : NISHIDA Michiru (Ministry of Foreign Affairs of Japan), « Global Efforts to Deal with the Problem of Space Debris », JAXA, 26/04/2017, disponible à l'adresse suivante : <http://global.jaxa.jp/article/2017/special/debris/nishida.html> (consultée le 25 juillet 2018).

¹⁶¹ Source : « ISO 24113 Space Debris Mitigations Standards Requirements - Japan », UNOOSA (United Nations Office for Outer Space Affairs), disponible à l'adresse suivante : <http://www.unoosa.org/documents/pdf/spacelaw/sd/Japan.pdf> (consultée le 29 juin 2018).

¹⁶² Source : ISO 24113:2011 -Space systems, Space debris mitigation requirements-, iso.org, disponible à l'adresse suivante : <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:57239:en> (consultée le 10 septembre 2018).

¹⁶³ Source : « ISO 24113 Space Debris Mitigations Standards Requirements - Japan », UNOOSA (United Nations Office for Outer Space Affairs), disponible à l'adresse suivante : <http://www.unoosa.org/documents/pdf/spacelaw/sd/Japan.pdf> (consultée le 29 juin 2018).

¹⁶⁴ Source : NISHIDA Michiru (Ministry of Foreign Affairs of Japan), « Global Efforts to Deal with the Problem of Space Debris », JAXA, 26/04/2017, disponible à l'adresse suivante : <http://global.jaxa.jp/article/2017/special/debris/nishida.html> (consultée le 25 juillet 2018).

Pour ce qui concerne le Japon *sensu stricto*, l'arsenal législatif propre aux débris spatiaux est clairement établi :

1. Respect des normes internationales de l'ONU (les « lois de l'espace » de 1967 et années suivantes¹⁶⁵) ;
2. Respect de la *soft law* Onusienne de 2007 (*Space Debris Mitigation Guidelines* : les lignes directrices sur la réduction des déchets spatiaux¹⁶⁶). Elle est issue de travaux antérieurs japonais :
 - a. guidelines nationaux de 1996 de la NASDA ancêtre de la JAXA ;
 - b. guidelines internationaux de 2001 de l'IADC (*Inter-Agency Space Debris Coordination Committee*) d'inspiration japonaise.

Elle inspira par après la création de la norme internationale ISO 24.113 :2011 portant sur le même sujet ;

3. La loi japonaise de 2016 (*Space Activity Act*)¹⁶⁷ sur le lancement et le contrôle des satellites¹⁶⁸ (prévoyant un régime d'autorisation de lancement, de non contamination et de sécurité conforme aux traités des Nations unies) ;
4. Toutes les activités de la JAXA sont basées sur le Plan de base de la politique spatiale¹⁶⁹ de 2013 (le fameux livre blanc) et sur sa *roadmap* annuelle (affinant le

¹⁶⁵ En particulier la Convention du 1/09/1972 sur la responsabilité internationale pour les dommages causés par des objets spatiaux et la Convention du 15/09/1976 sur l'immatriculation des objets lancés dans l'espace extra-atmosphérique.
Source : « Traités et principes des Nations unies relatifs à l'espace extra-atmosphérique - Traité sur les principes régissant les activités des États en matière d'exploration et d'utilisation de l'espace extra-atmosphérique, y compris la Lune et les autres corps célestes (27/01/1967) », Nations unies, New York, 2002, disponible à l'adresse suivante : <http://www.unoosa.org/pdf/publications/STSPACE11F.pdf> (consultée le 15 novembre 2014).

¹⁶⁶ Source : NISHIDA Michiru (Ministry of Foreign Affairs of Japan), « Global Efforts to Deal with the Problem of Space Debris », JAXA, 26/04/2017, disponible à l'adresse suivante : <http://global.jaxa.jp/article/2017/special/debris/nishida.html> (consultée le 25 juillet 2018).

¹⁶⁷ La loi japonaise de 2016 -dont le respect est impératif au Japon- intègre les guidelines nationales développées dès 1996 par la NASDA oeuvrant comme pionnière en la matière, puis les guidelines subséquentes onusiennes d'inspiration japonaise. Ces guidelines ont donc une nature coercitive au Japon même si tel n'est pas -encore- le cas au niveau international à l'heure actuelle. Source : Interview de monsieur Tetsuo YASAKA, professeur émérite de l'Université de Kyushu et ancien vice-président de la Fédération Internationale Aéronautique (12/06/2019).

¹⁶⁸ Source : ONISHI Mitsuru, « Overview of JAXA's Research for Comprehensive Measures on Space Debris », COPUOS, 2 February 2017, disponible à l'adresse suivante : <http://www.unoosa.org/documents/pdf/copuos/stsc/2017/tech-20E.pdf> (consultée le 5 juillet 2018).

¹⁶⁹ Source : « Basic Plan of Space Policy », JAXA, 25/06/2013, disponible à l'adresse suivante : <http://www8.cao.go.jp/space/plan/plan-eng.pdf> (consultée le 29 juin 2018).

plan de base¹⁷⁰, la dernière en date étant la roadmap 2017) dont un volet spécifique concerne la gestion des débris spatiaux.

Pour ce qui concerne l'aspect juridique en général je renvoie le lecteur à la section 3.1.3.

4.4.3 La mission *Kōnotori 6*

4.4.3.1 Introduction

Les débris spatiaux posent un problème sécuritaire et économique, l'envoi d'un satellite remplaçant un satellite détruit est un coût certain sans parler de l'interruption de services. Pour rendre l'espace sûr, il faut trouver des solutions techniques fiables et les moins onéreuses possibles.

Une analyse comparative des coûts devrait toujours être faite entre le coût du dommage et le coût des technologies d'élimination des déchets spatiaux. Mais l'estimation du coût des dommages est difficile à prévoir puisque le développement des activités spatiales de l'ensemble des agences spatiales à long terme est inconnu. Toujours est-il que le coût de la gestion des déchets doit être minimalisé¹⁷¹.

Rencontrer un débris est un « rendez-vous non coopératif », c'est en effet une tâche techniquement difficile puisque l'on doit estimer la trajectoire du débris. Et ce dernier, par définition, ne dispose pas d'aide à la navigation (de type marqueurs ou réflecteurs laser), il ne peut donc ainsi pas « coopérer ». La solution du câble électrodynamique (ETD : *electrodynamic tether* ou câble électrodynamique) de la JAXA a l'énorme avantage de ne pas devoir placer des moyens de propulsion dotés de carburant (réacteurs) sur un débris (encore faut-il que la propulsion se fasse dans la direction voulue) afin de le décélérer puis de le désorbiter et *in fine* de le renvoyer sur Terre. C'est donc une solution à la fois moins complexe techniquement (que l'ajout de réacteurs) et plus économique. Cette solution

¹⁷⁰ Source : « Implementation Plan of the Basic Plan on Space Policy (revised FY2017) », Cabinet Office (Bureaux du premier ministre) , slide nr 46 (Space Situation Awareness), 25 April 2018, disponible à l'adresse suivante : <http://www8.cao.go.jp/space/english/basicplan/2017/basicplan.pdf> (consultée le 13 juillet 2018).

¹⁷¹ Source : KAWAMOTO Satomi, OHKAWA Yasushi, OKAMOTO Hiroyuki, IKI Kentaroh, OKUMURA Teppei, KATAYAMA Yasuhiro, HAYASHI Masato, HORIKAWA Yuta, KATO Hiroki, MURAKAMI Naomi, TORU Yamamoto, INOUE Koichi, « Current Status of Research and Development on Active Debris Removal at JAXA », ESA, 7th European Conference on Space Debris (by JAXA speakers), 2017, disponible à l'adresse suivante : <https://conference.sdo.esoc.esa.int/proceedings/sdc7/paper/655/SDC7-paper655.pdf> (consultée le 2 juillet 2018).

innovante est décrite dans le cadre de la mission *Kōnotori 6* ci-après.

4.4.3.2 La mission *Kōnotori 6* et l'expérience KITE

Il s'agit de la sixième mission du véhicule de transport HTV dénommé *Kōnotori*. Ce véhicule est avant tout utilisé pour ravitailler la station spatiale internationale de manière automatique, une mission complémentaire lui a été attribuée lors de son départ le 9 décembre 2016 de la base spatiale de Tanegashima¹⁷².

Le 27 janvier 2017, *Kōnotori 6* -dans le cadre de de l'expérience KITE (*Kōnotori Integrated Tether Experiment* ou l'expérience *Kōnotori* de câble intégré), devait déployer un câble en fer et aluminium (d'une longueur de 700 mètres) lesté d'un poids de 22 kg vers un déchet spatial afin de le capturer via du courant électrique¹⁷³, de le désorbiter et de le déplacer vers l'atmosphère terrestre où il se consumerait. La mission devait ainsi démontrer la faisabilité de l'EDT (*electrodynamic tether* ou câble électrodynamique). Or, lors du test, il n'a même pas été possible de déployer le câble¹⁷⁴, l'échec fut connu des *media* le 31 janvier. Le 5 février 2017 *Kōnotori* rentrait dans l'atmosphère terrestre.

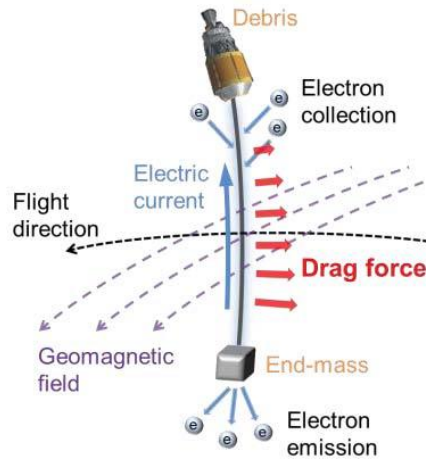
Le déploiement de la masse (hors du module de transport *Kōnotori*) vers le débris n'a pas eu lieu suite à une « banale » défectuosité du système de fixation dans la soute. Dès lors, le câble n'a pas pu se déployer de la masse vers le débris cible.

Ce dessin illustre le principe de l'EDT (*electrodynamic tether* ou câble électrodynamique) :

¹⁷² Le *Tanegashima Space Center, Tanegashima uchū sentā* (種子島宇宙センター、たねがしまうちゅうセンター) ou « Centre spatial de Tanegashima » se situe à dans la préfecture de Kagoshima à 35 km au sud de l'île de Kyūshū.

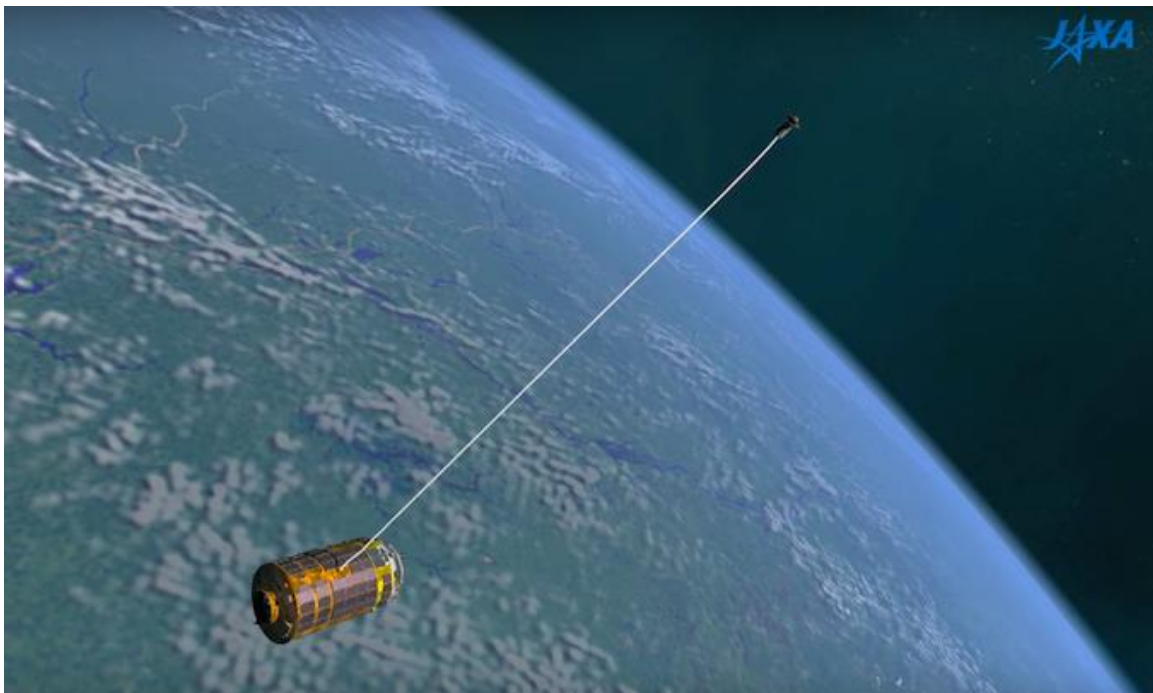
¹⁷³ Le câble chargé d'électrons de par son interaction avec le champ magnétique terrestre devait générer de l'énergie causant d'abord le ralentissement puis le désorbitage du débris et enfin son retour sur Terre.

¹⁷⁴ D'autres projets ont été proposés tels que des satellites *Kamikaze* (かみかぜ) mais c'est la mission *Kōnotori 6* qui a été retenue par la JAXA. Sources : DVORSKY George, « A Japanese Effort to Remove Hazardous Space Junk Has Failed », AFP via The Guardian, 2 June 2017, disponible à l'adresse suivante : <https://gizmodo.com/a-japanese-effort-to-remove-hazardous-space-junk-has-fa-1792040971> (consultée le 5 juillet 2018) / CLARK Stephen, « Japanese cargo ship ends mission after space debris experiment flounders », SpaceFlightNow.com, 6/02/2017, disponible à l'adresse suivante : <https://spaceflightnow.com/2017/02/06/japanese-cargo-ship-ends-mission-after-space-debris-experiment-flounders/> (consultée le 25 juillet 2018).



Source : KAWAMOTO Satomi, OHKAWA Yasushi, OKAMOTO Hiroyuki, Iki Kentaroh, OKUMURA Teppei, KATAYAMA Yasuhiro, HAYASHI Masato, HORIKAWA Yuta, KATO Hiroki, MURAKAMI Naomi, TORU Yamamoto, INOUE Koichi, « Current Status of Research and Development on Active Debris Removal at JAXA », ESA, 7th European Conference on Space Debris (by JAXA speakers), 2017, disponible à l'adresse suivante : <https://conference.sdo.esoc.esa.int/proceedings/sdc7/paper/655/SDC7-paper655.pdf> (consultée le 2 juillet 2018).

Ce dessin illustre l'application théorique de l'EDT dans le cadre de l'expérience KITE :

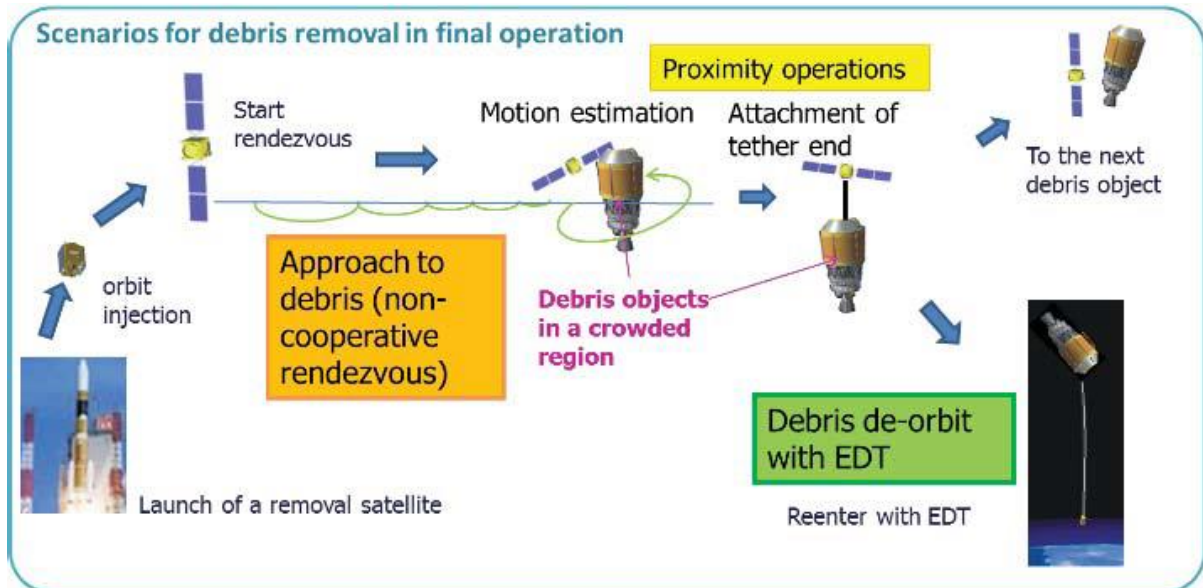


L'expérience KITE (*Kōnotori Integrated Tether Experiment*) lors de la mission *Kōnotori 6* : le module HTV déploie un câble lesté afin de faire dévier un débris spatial de son orbite. Malheureusement le câble ne se déploya pas. C'est l'interaction entre le câble électrodynamique (*electrodynamical tether*) et le champ magnétique de la Terre qui génère suffisamment d'énergie pour faire changer d'orbite un débris dans l'espace: l'expérience KITE devait en démontrer la faisabilité.

Source : CLARK Stephen, « Japanese cargo ship ends mission after space debris experiment flounders », SpaceFlightNow.com, 6/02/2017, disponible à l'adresse suivante : <https://spaceflightnow.com/2017/02/06/japanese-cargo-ship-ends-mission-after-space-debris-experiment-flounders/> (consultée le 25 juillet 2018).

4.4.3.3 Une variante à l'expérience KITE : un système de gestion de petits satellites « de nettoyage »

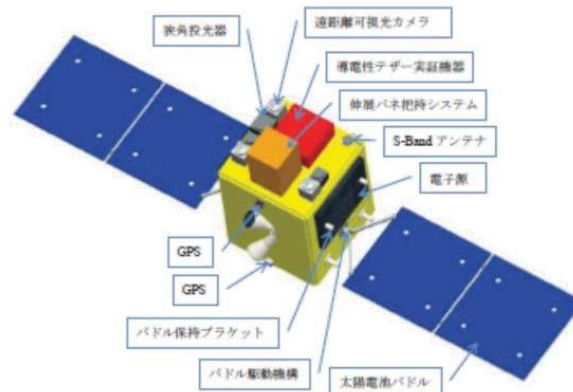
Une variante serait l'utilisation d'un petit satellite dans lequel ce dernier prendrait le rôle de la masse dans l'expérience KITE (pour rappel, cette masse déployait le câble vers le débris cible). Ce dessin illustre l'application théorique de l'EDT avec un petit satellite :



Un satellite est lancé, il est déployé en orbite basse à proximité du débris à détruire. Un câble électrodynamique (EDT: *electrodynamic tether*) est attachée au satellite afin de modifier la trajectoire du débris en le dirigeant vers l'atmosphère terrestre.

Source : KAWAMOTO Satomi, OHKAWA Yasushi, OKAMOTO Hiroyuki, Iki Kentaroh, OKUMURA Teppei, KATAYAMA Yasuhiro, HAYASHI Masato, HORIKAWA Yuta, KATO Hiroki, MURAKAMI Naomi, TORU Yamamoto, INOUE Koichi, « Current Status of Research and Development on Active Debris Removal at JAXA », ESA, 7th European Conference on Space Debris (by JAXA speakers), 2017, disponible à l'adresse suivante : <https://conference.sdo.esoc.esa.int/proceedings/sdc7/paper/655/SDC7-paper655.pdf> (consultée le 2 juillet 2018).

Le concept de satellite « de nettoyage » en charge du retrait d'un débris cible :



Source : KAWAMOTO Satomi, OHKAWA Yasushi, OKAMOTO Hiroyuki, Iki Kentaroh, OKUMURA Teppei, KATAYAMA Yasuhiro, HAYASHI Masato, HORIKAWA Yuta, KATO Hiroki, MURAKAMI Naomi, TORU Yamamoto, INOUE Koichi, « Current Status of Research and Development on Active Debris Removal at JAXA », ESA, 7th European Conference on Space Debris (by JAXA speakers), 2017, disponible à l'adresse suivante : <https://conference.sdo.esoc.esa.int/proceedings/sdc7/paper/655/SDC7-paper655.pdf> (consultée le 2 juillet 2018).

Quels en seraient les avantages ?

- Un rapport coût-efficacité satisfaisant. Un petit satellite (d'1 mètre de diamètre et d'un poids de 200 kg) muni du câble en fer et aluminium coûte nettement moins cher (à la conception, mais surtout au lancement vu les coûts de carburant) qu'un satellite de taille et de masse plus grande. Si un petit objet peut faire le travail de « nettoyage » dans l'espace, ce n'est que mieux.
- Une minimalisation des risques. Un grand satellite « de nettoyage » pourrait à son tour en cas de collision, constituer un débris plus menaçant encore qu'un petit. Cependant ceci est à nuancer, car comme mentionné auparavant à la section 4.4.1, un débris de grande taille (issu dans ce cas de figure de la destruction d'un satellite de grande taille) est en général repéré plus tôt, il est dès lors plus facilement évitable par les objets spatiaux.

Quels en seraient les inconvénients ?

- Pour l'instant pour des raisons techniques, l'opération ne peut pas être répétée pour un autre débris car le petit satellite se désorbite en même temps que le satellite-cible (donc le débris) qu'il a réussi à désorbiter.
- Le système n'est pas prévu pour le désorbitage de petits satellites (comprenez débris) ; pour les gros satellites, la question est à l'étude sachant qu'un arbitrage est toujours à faire entre le coût d'un désorbitage et le coût généré par la survenance d'un risque de collision dans l'espace ou de dommages sur Terre.

En outre la JAXA étudie dans ce cadre l'enlèvement de débris en orbite géostationnaire (non plus par un système électrodynamique mais par un système d'irradiation d'un faisceau à ions). Ceci constitue s'il en fallait encore une nouvelle preuve des tentatives d'innovation nippones.

4.4.3.4 Conclusions

On estime à deux millions le nombre de débris autour de la Terre (seulement 17.000 sont répertoriés, il y a probablement plus de débris encore -100 millions¹⁷⁵- si l'on compte ceux de très petite taille, inférieurs à 1 cm), ce problème de sécurité spatiale mérite effectivement une attention.

Comme le fait justement remarquer le journaliste George DVORSKY¹⁷⁶, l'échec de la mission *Kōnotori 6* n'est pas strictement japonais ; il est en fait mondial, car ce problème concerne la communauté internationale dans son ensemble. Cependant, la JAXA a au moins eu le mérite de tester *in situ*, c.-à-d. dans l'espace, une proposition de solution même si elle n'a pour l'instant pas donné satisfaction.

¹⁷⁵ 150 millions de débris d'un poids total de 7.000 tonnes (celui de la Tour Eiffel) selon certaines sources. Source : TANGUY Vincent, « Les technologies de pointe pour en finir avec les débris spatiaux », Sciences et Avenir, 13/09/2017, disponible à l'adresse suivante : https://www.sciencesetavenir.fr/espace/les-technologies-de-pointe-pour-en-finir-avec-les-debris-spatiaux_116267 (consultée le 26 juillet 2018).

¹⁷⁶ Source : *Ibid.*

4.4.5 Le *monitoring* américano-nippon des débris spatiaux (*Space Situational Awareness*)

Pour le suivi des débris en général, je renvoie le lecteur au chapitre 4.4.1. Le chapitre suivant traite spécialement de la collaboration à ce sujet entre la JAXA et la NASA.

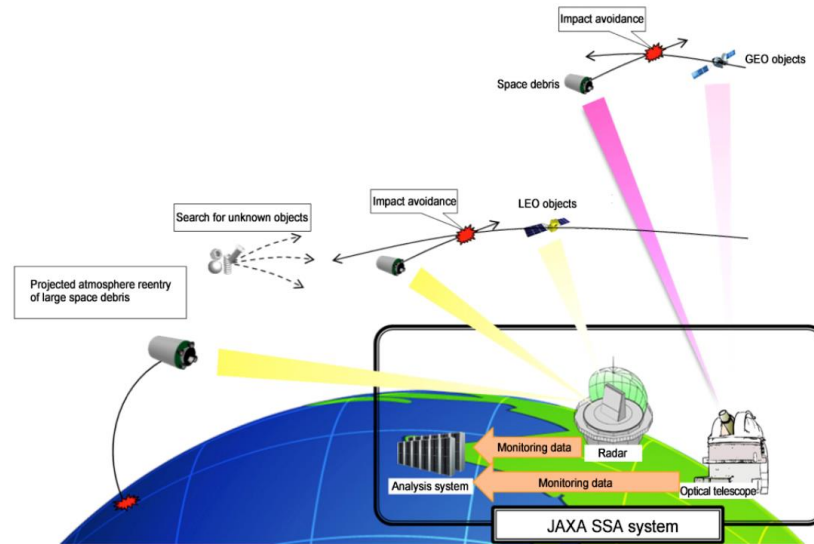
Pour rappel, nous avons vu que la JAXA procède aux activités suivantes : (1) le monitoring des débris spatiaux, (2) la compilation des données concernant leurs orbites, (3) l'analyse prédictive -par simulation- de leur approche vers les engins spatiaux en général et les satellites en particulier, (4) l'analyse prédictive -par simulation- de leur rentrée dans l'atmosphère terrestre. L'utilisation de télescopes optiques et de radars aide grandement à l'obtention des données orbitales et à l'analyse de celles-ci (dans le cadre de la simulation mathématique des trajectoires des débris).

Suite à l'accord dénommé *Space Situational Awareness (SSA)* ou « état des lieux spatial » conclu en 2013 entre la NASA et la JAXA, le centre de monitoring des débris spatiaux de la NASA, le JSpOC (Joint Space Operations Center pouvant d'ailleurs détecter les débris de taille inférieure à 10 cm) informe systématiquement la JAXA du danger potentiel. Il a détecté plus de 17.000 débris de taille supérieure à 10 cm.

Dans le cadre du SSA, la JAXA prévoit d'augmenter son potentiel de détection de débris dans l'espace par une nouvelle chaîne de radars au Centre de Surveillance Spatial de Kamisaibara¹⁷⁷ (*Kamisaibara Space Guard Center*) dans la province d'Okayama (le potentiel de détection serait 200 fois supérieur au système de détection existant). Ainsi, la JAXA dépendrait moins du système de détection américain et serait dès lors plus autonome. Ce saut qualitatif serait aussi profitable à la NASA puisque la JAXA ferait bénéficier les États-Unis de ses observations spatiales en vertu de leur accord SSA de 2013.

¹⁷⁷ Sources : MATSUURA Mayumi (Project Manager Space Situation Awareness System), « Preventing collisions between debris and spacecrafts », JAXA, 26/04/2017, disponible à l'adresse suivante : <http://global.jaxa.jp/article/2017/special/debris/matsuura.html> (consultée le 25 juillet 2018) / « Kamisaibara Space Guard Center », JAXA, disponible à l'adresse suivante : <http://global.jaxa.jp/about/centers/ksgc/index.html> (consultée le 25 juillet 2018).

Le but de la JAXA que ce soit seule ou en collaboration avec la NASA, est de rendre l'espace visible et sûr grâce à un meilleur état des lieux spatial¹⁷⁸.



État des lieux spatial (SSA : *Space Situation Awareness*) de la JAXA

Source : MATSUURA Mayumi (Project Manager Space Situation Awareness System), « Preventing collisions between debris and spacecrafts », JAXA, 26/04/2017, disponible à l'adresse suivante : <http://global.jaxa.jp/article/2017/special/debris/matsuura.html> (consultée le 25 juillet 2018).



Localisation des centres de la JAXA utilisés dans le cadre de la SSA (le centre radar, le centre de télescope optique et le centre de traitement des données). Plus plus d'information sur le Tsukuba Space Center, voir l'annexe 2. Source : « Space Situational Awareness (SSA) System », JAXA, disponible à l'adresse suivante : <http://global.jaxa.jp/activity/pr/brochure/files/engineering06.pdf> (consultée le 29 juin 2018).

¹⁷⁸ Cette phrase résonne mieux en termes de marketing lorsqu'elle est rédigée en anglais: *to achieve a « Safer Space for All (SSA) through Space Situational Awareness (SSA) »*. Source : « Space Situational Awareness (SSA) System », JAXA, disponible à l'adresse suivante : <http://global.jaxa.jp/activity/pr/brochure/files/engineering06.pdf> (consultée le 29 juin 2018).

4.4.6 La privatisation de la gestion des déchets spatiaux

Pour rappel, les débris spatiaux figurent principalement :

- aux orbites basses (entre 300 et 1000 kilomètres d'altitude, où se trouve précisément la Station spatiale internationale et de nombreux satellites météorologiques) ;
- aux orbites dites géostationnaires (à 36.000 kilomètres d'altitude, très utilisées par les satellites de télécommunication, de météorologie et de renseignement militaire).

Ces débris posent ainsi d'importants problèmes de sécurité pour les satellites artificiels qui doivent régulièrement et de plus en plus souvent manœuvrer pour les éviter.

Sans surprise, l'ISS a pour ambition de détecter et d'éliminer les risques ainsi détectés¹⁷⁹. Ainsi le 4 décembre 2017 la NASA a installé son *Space Debris Sensor* (SDS) au laboratoire européen Columbus de l'ISS afin de piéger les débris de la taille de quelques millimètres dans une sorte de filet. Ceci présente de gros avantages : cela permet de déterminer le nombre de débris, leur vitesse, leur trajectoire et enfin leur densité (en effet un objet à forte densité se déplaçant à grande vitesse représente un danger mortel pour un engin spatial). La mission (dont la fin était prévue pour février 2018) a également pour but de définir les besoins en termes de capacités de blindage (face aux débris spatiaux) d'engins spatiaux lors de leur conception¹⁸⁰. Il faut donc retenir que même les micro-débris sont dangereux.

Le 12 septembre 2017 la JAXA a signé un accord avec ASTROSCALE PTE. LTD.¹⁸¹, la première société privée au monde dont la raison sociale est d'assurer la continuité de service des

¹⁷⁹ Il y aurait 23.000 débris spatiaux de taille supérieure à quelques centimètres. Source : DAMINOS Franck, « L'ISS va cartographier les micro-débris spatiaux », Sciences et Avenir, 1/12/2017, disponible à l'adresse suivante : https://www.sciencesetavenir.fr/espace/l-iss-va-cartographier-les-micro-debris-spatiaux_118792 (consultée le 27 juillet 2018).

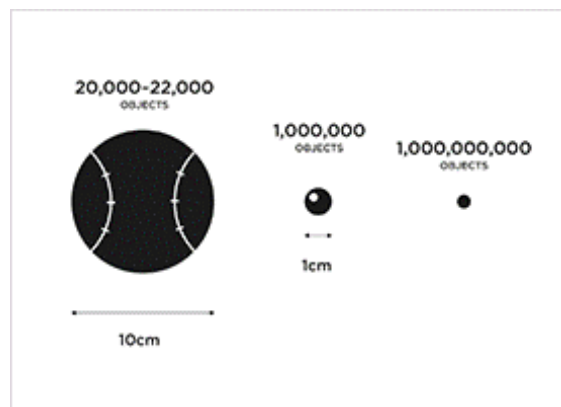
¹⁸⁰ Source : HAMILTON Joseph, « Space Debris Sensor (SDS) », NASA, 18/04/2018, disponible à l'adresse suivante : https://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/experiments/2145.html (consultée le 26 juillet 2018).

¹⁸¹ Sources: OKADA Nobu (Founder and CEO of ASTROSCALE), « Harnessing the Power of the Private Sector to Clean Up Space Junk », JAXA, 26/04/2017, disponible à l'adresse suivante : <http://global.jaxa.jp/article/2017/special/debris/okada.html> (consultée le 25 juillet 2018) / « ASTROSCALE and JAXA Conclude Joint Agreement to Counteract Space Debris », JAXA, 12th September 2017, disponible à l'adresse suivante :

autres sociétés¹⁸² via la gestion des débris spatiaux. Cette société est singapourienne, elle a été fondée en 2013. Son centre de recherche et développement a été fondé au Japon en février 2015.

ASTROSCALE a pour ambition de dresser une cartographie des micro-débris spatiaux indétectables actuellement (c.-à-d. ceux dont la taille est inférieure à 1 cm, on en estime le nombre à 750.000 au *minimum*).

Le tableau suivant illustre la taille des débris spatiaux :



Les objets supérieurs à 1 cm sont pour la plupart répertoriés (entre 17.000 et 20.000 selon les sources, ici *maximum* 22.000), les objets de la taille inférieure à 1 cm sont difficilement voire presque impossibles à détecter (on en estime le nombre à *minimum* 750.000).

Source : « Space debris », ASTROSCALE, disponible à l'adresse suivante : <http://astroscale.com/about> (consultée le 18 septembre 2018).

Pour ce faire, le satellite de détection IDEA OSG 1, dont le développement est déjà finalisé, devait être mis en orbite en 2017 à partir de la Russie, ses capteurs ont été développés par la JAXA. Le but est donc de prévoir la trajectoire des micro-débris spatiaux pour pouvoir les éviter. C'est la phase de gestion préventive des risques. IDEA OSG 1 a été lancé le 27/11/2017, mais a été perdu alors que l'on tentait de le placer en orbite¹⁸³.

http://global.jaxa.jp/press/2017/09/20170912_elsa-d.html (consultée le 29 juin 2018) / « Space debris », ASTROSCALE, disponible à l'adresse suivante : <http://astroscale.com/about> (consultée le 18 septembre 2018).

¹⁸² Cela inclut la sécurité (dans le sens de la sécurité humaine, *safety* en anglais) des voyages spatiaux (organisés par d'autres sociétés) ou l'usage « libre » d'orbites par des satellites car non polluées par des débris d'autres satellites (ayant appartenu à d'autres agences spatiales ou sociétés). La continuité de service (*Business continuity*) est le *Business model* de la société ASTROSCALE. Son fondateur est convaincu qu'un système de transport spatial régulier Terre-Lune sera mis en place dans le futur et ASTROSCALE aidera l'hypothétique société de transport à avoir la voie libre (de débris). Source : OKADA Nobu (Founder and CEO of ASTROSCALE), « Harnessing the Power of the Private Sector to Clean Up Space Junk », JAXA, 26/04/2017, disponible à l'adresse suivante : <http://global.jaxa.jp/article/2017/special/debris/okada.html> (consultée le 25 juillet 2018).

¹⁸³ Il a été perdu avec 17 autres petits satellites placés sur une mauvaise orbite, apparemment suite à une erreur de programmation. Sources : GRAHAM William, « Soyuz 2-1B launch with Meteor-M ends in apparent Fregat-M failure », NASA Spaceflight.com, 27/11/2017, disponible à l'adresse suivante : <https://www.nasaspaceflight.com/2017/11/soyuz-2-1b-launch-meteor-m/> (consultée le 30/11/2018) / KRAMER Miriam, « It looks like a Russian space mission failed on Tuesday,

ASTROSCALE désire évidemment éliminer les dangers préalablement détectés. Pour ce faire, le satellite ELSA-d¹⁸⁴, encore en projet, devrait utiliser un système d'aimants pour capturer ces micro-débris (voire des débris d'un poids total *maximum* de 500 kg) et les rejeter dans l'atmosphère terrestre. C'est la phase active d'élimination des risques.

ELSA-d devrait être lancé et donner lieu à une démonstration au cours de l'année 2019¹⁸⁵ ; en cas de succès, le système devrait être opérationnel en 2020 selon le CEO de la société ASTROSPACE¹⁸⁶. Ce dernier a créé sa société par quête de sens (après une carrière réussie dans le domaine informatique, il voulait -dit-il- contribuer à un monde meilleur), par passion pour l'espace, et parce que même si on lui a souvent dit qu'il n'y avait pas de marché dans ce secteur, au moins il n'aurait pas ou peu de concurrent(s). Cependant, Nobu OKADA a été le premier à fonder une société privée dans ce secteur et a pu bénéficier de fonds publics et privés¹⁸⁷ d'un montant total de 4 milliards de yens (30,1 millions €) pour la monter.

4.5 La découverte de Vénus - La sonde *Akatsuki* (あかつき) et la voile solaire *Ikaros*

Même si le vol habité est plus médiatique il convient de ne pas oublier que les sondes planétaires, sont révélatrices d'une capacité technologique de très haut niveau. Capacité non seulement atteinte, mais même dépassée par la JAXA, puisque le mécanisme de propulsion de la voile solaire est innovant en soi. La JAXA est la première puissance spatiale à avoir mis en pratique avec succès à bonne distance de la Terre la théorie de la propulsion par la pression de la lumière.

jeopardizing multiple satellites », mashable.com, 28/11/2017, disponible à l'adresse suivante : <https://mashable.com/2017/11/28/russian-rocket-soyuz-weather-satellite-failure/?europa=true> (consultée le 30 novembre 2018).

¹⁸⁴ Le « d » de ELSA-d signifie « demonstrator », c'est donc un satellite de test ayant pour but de démontrer la faisabilité d'une nouvelle technologie. Bien que la JAXA n'intervienne pas dans le développement du satellite ELSA-d, elle collaborera dans la partie « recherche et développement » de nouveaux composants. Source : « ASTROSCALE and JAXA Conclude Joint Agreement to Counteract Space Debris », JAXA, 12th September 2017, disponible à l'adresse suivante : http://global.jaxa.jp/press/2017/09/20170912_elsa-d.html (consultée le 29 juin 2018).

¹⁸⁵ Source : TANGUY Vincent, « Les technologies de pointe pour en finir avec les débris spatiaux », Sciences et Avenir, 13/09/2017, disponible à l'adresse suivante : https://www.sciencesetavenir.fr/espace/les-technologies-de-pointe-pour-en-finir-avec-les-debris-spatiaux_116267 (consultée le 26 juillet 2018).

¹⁸⁶ Sources : OKADA Nobu (Founder and CEO of ASTROSCALE), « Harnessing the Power of the Private Sector to Clean Up Space Junk », JAXA, 26/04/2017, disponible à l'adresse suivante : <http://global.jaxa.jp/article/2017/special/debris/okada.html> (consultée le 25 juillet 2018). / NYIRADY Annamarie, « SSTL Ships Satellite for AstroScale's ELSA-d Mission », Via Satellite, 8/11/2019, disponible à l'adresse suivante : <https://www.satellitetoday.com/launch/2019/11/08/sstl-ships-satellite-for-astrocales-elsa-d-mission/> (consultée le 8 décembre 2019).

¹⁸⁷ Le fonds privé a été fourni par le groupe nommé *the Innovation Network Corporation of Japan*.

Il s'agit de la sonde *Akatsuki*¹⁸⁸ utilisant la voile solaire *Ikaros* comme mode de propulsion.

La voile solaire *Ikaros* (*Interplanetary Kite-craft Accelerated by Radiation of the Sun*) a été développée par la JAXA, il s'agit de pouvoir déployer la voile afin d'utiliser la pression de la radiation du soleil pour accélérer dans l'espace¹⁸⁹, le but de la mission était de vérifier si un engin spatial pouvait se déplacer en étant mu exclusivement par ce système de propulsion¹⁹⁰. Cette technologie ne permet que de déplacer de faibles charges utiles (200 kg). Le 20 mai 2010 un lanceur H-IIA fut chargé de placer en orbite la sonde *Akatsuki* (Planet-C) autour de Vénus ainsi que la voile solaire.

Mais la sonde *Akatsuki* ne réussit pas initialement à orbiter autour de Vénus¹⁹¹ suite à une défaillance de sa motorisation principale.

Cependant le 16 juillet 2010, la sonde *Akatsuki* réussit à utiliser son système de propulsion particulier (la voile solaire *Ikaros*). En mai 2015 elle se situait à 110 millions de kilomètres de la Terre et à 130 millions de kilomètres du soleil¹⁹². En décembre 2015 elle réussit enfin sa

¹⁸⁸ *Akatsuki* (暁、あかつき) signifie « aube ».

¹⁸⁹ L'inconvénient majeur de ce type de propulsion est le suivant: la taille de la voile doit être nettement supérieure à la taille du vaisseau à mouvoir dans l'espace. La voile n'est en outre déployable que dans l'espace. Source : DAWSON Linda, *The politics and perils of space exploration - Who will compete, who will dominate ?*, Springer editions, 22 November 2016, p. 186. La pression de la lumière permet de propulser une sonde, cette théorie a été mise en pratique par la JAXA en 2010. En effet les particules de lumière agissent sur des surfaces réfléchissantes comme les miroirs -tout comme le ferait un gaz- en exerçant une pression. Cette pression est faible mais dans l'espace, en l'absence de frottements pour ralentir les vaisseaux, elle est suffisante pour servir de moyen de propulsion. Ainsi, plus besoin de carburant : une voile et un souffle de lumière suffisent ! Ce n'est peut-être pas un hasard si le pays à l'origine de cette prouesse (le déploiement d'une voile carrée de quatorze mètres de côté) est celui qui a inventé l'art du pliage qu'est l'*origami* (折り紙、おりがみ), littéralement « l'art du pliage du papier ». Ce mode de propulsion associé à la miniaturisation et aux nanotechnologies (plus un vaisseau est petit moins d'énergie s'avère être nécessaire pour le propulser) pourrait en théorie permettre de voyager vers d'autres systèmes stellaires. Le projet *Breakthrough Starshot* (« tir vers les étoiles ») a notamment pour but d'étudier la faisabilité de propulser une sonde d'un gramme reliée à une voile de quatre mètres d'envergure dans le système stellaire et planétaire le plus proche de notre système solaire à savoir Alpha du Centaure, et ce afin de répondre à la grande question : « sommes-nous seuls dans l'univers ? ». Ce projet d'origine privée et académique est à la base américain puis il s'est internationalisé. Il comporte un membre japonais de l'université de Kobe : Kaya Nobuyuki (voir l'annexe 1 pour plus de détails). Sources : COURTOIS Hélène et TOGNINI Michel, *Explorateurs de l'espace - Voyage aux frontières de l'Univers*, éditions Dunod, Avril 2019, p. 118 / HOWELL Elizabeth, « Ikaros: First Successful Solar Sail », Space.com, 7/05/2014, disponible à l'adresse suivante: <https://www.space.com/25800-ikaros-solar-sail.html> (consultée le 5 juillet 2018) / « Internet Investor and science philanthropist Yuri Milner & Physicist Stephen Hawking announce Breakthrough Starshot Project to develop 100 million mile per hour mission to the stars within a generation, Breakthrough.org », 12 April 2016, disponible à l'adresse suivante: <https://breakthroughinitiatives.org/news/4> (consultée le 6 juin 2019).

¹⁹⁰ Source : « Small Solar Power Sail Demonstrator IKAROS », JAXA, disponible à l'adresse suivante : http://global.jaxa.jp/countdown/f17/overview/ikaros_e.html (consultée le 5 juillet 2018).

¹⁹¹ Source : HOWELL Elizabeth, « Ikaros: First Successful Solar Sail », Space.com, 7th May 2014, disponible à l'adresse suivante: <https://www.space.com/25800-ikaros-solar-sail.html> (consultée le 5 juillet 2018).

¹⁹² Source : « What's new (2015) », JAXA, disponible à l'adresse suivante: <http://global.jaxa.jp/news/2015/#news4589> (consultée le 5 juillet 2018) / « IKAROS enters hibernation mode for 5th time », JAXA, disponible à l'adresse suivante : <http://global.jaxa.jp/projects/sat/ikaros/topics.html#topics4743> (consultée le 5 juillet 2018).

mise en orbite grâce à ses petits propulseurs d'altitude¹⁹³. La sonde se situe toujours actuellement dans notre système solaire¹⁹⁴.

Dans cette aventure, la JAXA a déjà réussi à réanimer le satellite *Akatsuki*, en orbite autour de Vénus en 2015, après cinq années de silence spatial¹⁹⁵, mais a surtout démontré la possibilité d'utiliser la voile solaire comme système de propulsion.

Pour la réanimation de la sonde qualifiée de « miracle » par le directeur du *Planetary Science* de la NASA, John GREEN, ce dernier a chaleureusement félicité la JAXA pour sa « capacité à surmonter l'adversité »¹⁹⁶.

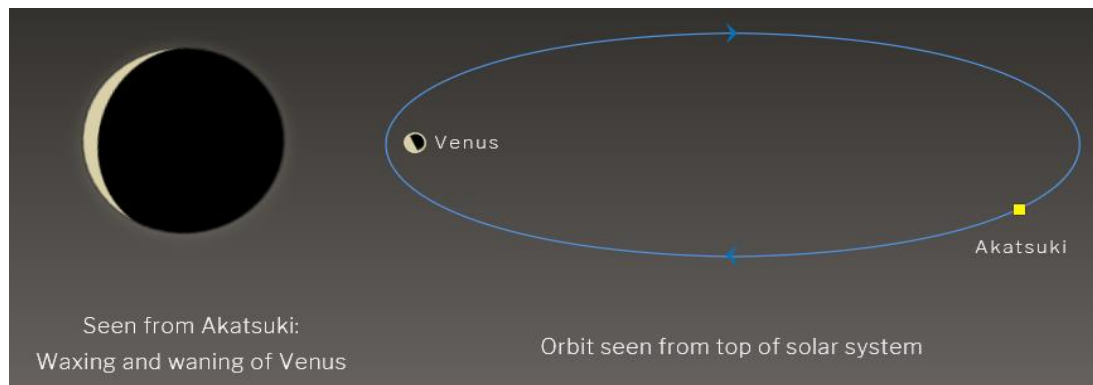


Illustration de la sonde *Akatsuki* en orbite autour de Vénus.

Source : « Venus Climate Orbiter Akatsuki », JAXA, 25/07/2018, disponible à l'adresse suivante : <http://akatsuki.isas.jaxa.jp/en/> (consultée le 25 juillet 2018).

Mais pourquoi orbiter autour de Vénus ?¹⁹⁷

La communauté scientifique pense que Vénus et la Terre sont apparues en même temps, il y a plus ou moins 4,6 milliards d'années. On peut imaginer que Vénus avait également des océans. L'eau s'étant évaporée, les océans ayant disparu de par la trop grande proximité de Vénus par rapport au Soleil.

¹⁹³ Source : SANGUY Marie Ange, « Bases lunaires - On repense tout! », Espace Exploration n° 33, Mai-Juin 2016, p 21.

¹⁹⁴ Source : FROHN Olaf, « A diagram of active space missions traveling beyond Earth orbit, July 2019 », The Planetary Society, disponible à l'adresse suivante : <http://www.planetary.org/multimedia/space-images/charts/whats-up-in-the-solar-system-frohn.html> (consultée le 6 décembre 2019).

¹⁹⁵ Source : SIMON Marie, « Espace: la mystérieuse disparition du satellite Hitomi », l'express.fr, 04/04/2016, disponible à l'adresse suivante : https://www.lexpress.fr/actualite/sciences/espace-la-mysterieuse-disparition-du-satellite-hitomi_1779293.html (consultée le 26 juin 2018).

¹⁹⁶ Source : KEETER Bill, « NASA Scientists Applaud Japanese Spacecraft Akatsuki's Successful Rendezvous with Venus », NASA, 7/08/2017, disponible à l'adresse suivante : <https://www.nasa.gov/feature/nasa-scientists-applaud-japanese-spacecraft-akatsuki-s-successful-rendezvous-with-venus> (consultée le 25 juillet 2018).

¹⁹⁷ Source : « Why explore Venus? », JAXA, disponible à l'adresse suivante : <http://akatsuki.isas.jaxa.jp/en/mission/reason/> (consultée le 25 juillet 2018).

En étudiant l'atmosphère de Vénus, on pourrait comprendre comment la vie est apparue sur Terre. Bref, en étudiant la météorologie de Vénus, on pourrait mieux comprendre celle de la Terre.

La mission *Akatsuki* fait suite à de nombreuses missions d'autres agences spatiales, telles que la NASA, l'ESA et Roscosmos.

Le 21 septembre 2017, la NASA et la JAXA ont réaffirmé leur volonté de collaboration¹⁹⁸ dans le cadre de la mission *Akatsuki* (La NASA pourra en exploiter les résultats scientifiques).

4.6 Les missions d'étude des comètes et astéroïdes - Les missions *Hayabusa* (はやぶさ) et *Tsubame* (燕)

Le Japon est le premier pays ayant récupéré un échantillon d'astéroïde au-delà du champ gravitationnel de la Terre. Non seulement la JAXA a réussi ce tour de force, ce qui constitue bel et bien un autre exemple d'innovation, mais en outre le modèle de propulsion ionique fut testé.

4.6.1 Un peu d'histoire

Je paraphrase ici Madame Yaël NAZÉ, astrophysicienne, dans son ouvrage intitulé « Astronomies du passé » : « L'astronomie japonaise fut influencée historiquement par l'astronomie chinoise¹⁹⁹, cependant si en Chine l'empereur correspond à une étoile polaire,

¹⁹⁸ Source : TALBERT Tricia, « NASA, JAXA reaffirm cooperation in space exploration », NASA, 05/06/2018, disponible à l'adresse suivante : <https://www.nasa.gov/feature/nasa-jaxa-reaffirm-cooperation-in-space-exploration> (consultée le 25 juillet 2018).

¹⁹⁹ La Chine était gouvernée par le mandat du ciel (le *Tianxia*, le système mondial selon ce mandat est caractérisé par l'harmonie et la coopération sans hégémonie. La cohérence du système mondial serait garantie par l'harmonie interne et la diversité). L'empereur ne conserve le pouvoir que s'il se montre avisé, si tel n'est pas le cas il est du devoir du peuple de démettre l'empereur de ses fonctions. Comment savoir si l'empereur se montre avisé ? En regardant le ciel, un évènement astral non prévu par les astronomes de l'époque était de mauvaise augure pour l'empereur (ou pour l'astronome si ce dernier avait fait des calculs inexacts). Source : NAZÉ Yaël, *Astronomie du passé - De Stonehenge aux pyramides mayas*, éditions Belin, 19 janvier 2018, p. 100. L'empire de 3.000 ans gouverné par le « mandat du ciel » doit être légitime aux yeux du peuple et harmonieux (l'harmonie étant liée à la famille, celle-ci étant la source des vertus créant ainsi une société et donc un monde harmonieux dans le cadre de ce mandat). Cette conception chinoise promeut le collectif familial à l'inverse des européens de l'époque promouvant l'individualité. Aucun empereur chinois ne parvient à parfaitement incarner le mandat du ciel (puisque la création d'une société utopique se heurte à des difficultés d'ordre pratique), selon ce concept une révolution est possible voire même encouragée lorsqu'il s'agit de remplacer l'empereur par un candidat plus légitime aux yeux du peuple. *In fine* la notion de « mandat du ciel » évolua vers la notion européenne d'État-nation via les phases de darwinisme social et de nationalisme. Source : « The Chinese concept of Empire : All-Under-Heaven », Understanding Modern China, 14/02/2014, disponible à l'adresse suivante : <https://uosm2018.wordpress.com/2014/02/14/the-chinese-concept-of-empire-all-under-heaven/> (consultée le 10 avril 2018).

au Japon il correspond au Soleil²⁰⁰. Il y eut des astronomes officiels, mais aussi des astronomes amateurs. Ainsi, déjà à l'époque médiévale (en 1664), un jeune garçon japonais observa une comète pendant quatre mois²⁰¹ ».

Au Moyen Age, l'astronomie fut enseignée au Japon dans les monastères bouddhiques²⁰².

Notons que les observations cométaires chinoises avaient neuf siècles d'avance sur les connaissances occidentales en la matière²⁰³. Les chinois observèrent le passage spectaculaire de la comète de Halley en 837, mais on retrouve la trace dans les annales chinoises des 29 passages de la comète depuis 240 av. J.-C.

Les Japonais étudient les astéroïdes pour principalement deux raisons : d'une part, l'exploitation des ressources énergétiques et d'autre part, la crainte d'une collision avec la Terre.

4.6.2 L'aspect juridique

En droit international, l'espace extra-atmosphérique (de même que la Lune et les corps célestes en ce compris les astéroïdes et les comètes) est considéré comme *terra nullius/res nullius*, tout comme d'ailleurs l'Antarctique ou la haute mer hors zones territoriales, c.-à-d. « territoire sans maître ». Ce concept désigne un espace territorial qui ne relève pas d'un État, dès lors ce territoire n'appartient à aucun État particulier. Il pourrait en théorie être exploité par le « premier arrivé ».

²⁰⁰ Il n'y a rien d'étonnant à cela puisque selon la mythologie japonaise, *Isanaga no mikoto* créa *Amaterasu Ōmikami* (la déesse du Soleil) dont chaque empereur prétend incarner la descendance. Sources : « Introduction aux religions du Japon : shintoïsme et bouddhisme » - Mme Edith Culot - Université de Liège (2018-2019) : <https://www.programmes.uliege.be/cocoon/cours/ASIE0009-1.html> et « Initiation à la littérature japonaise » - Mme Kanako Goto - Université de Liège (2017-2018) : <https://www.programmes.uliege.be/cocoon/cours/ASIE0010-1.html>.

²⁰¹ Madame Nazé souligne également que les monuments préhistoriques témoignent d'un intérêt précoce pour le ciel donc bien avant l'influence chinoise. Ainsi par exemple les cercles de la pierre d'Oyu (Nonakado dans la préfecture d'Akita au nord de Honshu) semblent orientés: une ligne joint les deux centres et pointe vers le coucher du Soleil au solstice d'été, tandis qu'une autre en sens opposé, pointe vers le lever du Soleil au solstice d'hiver (période Jōmon, soit 2000-1500 av. J.-C.). Cependant le Japon, en matière astronomique, fit très rapidement appel à des spécialistes étrangers notamment chinois (le chinois firent eux-mêmes appel aux arabes, aux indiens puis aux missionnaires européens). Source: NAZÉ Yaël, *Astronomie du passé - De Stonehenge aux pyramides mayas*, éditions Belin, 19 janvier 2018, p. 117.

²⁰² L'*Enryakuji* (延暦寺), temple central du bouddhisme de l'école Tendai (situé au Mont Hiei à Ōtsu surplombant Kyōto) devient une sorte d'université où sont enseignées aux jeunes aristocrates et guerriers non seulement le bouddhisme exotérique, le confucianisme, la poésie et la stratégie militaire mais aussi les principes de l'agronomie, de la pharmacie, de l'architecture, et enfin de l'astronomie. Source : SOUYRI Pierre-François : *Nouvelle histoire du Japon*, Editions Perrin, 2 septembre 2010, p. 312.

²⁰³ « Qu'elle soit au nord ou au sud du Soleil, une comète pointe toujours sa queue à l'opposé du Soleil dans la direction des rayons solaires ». Cette observation ne fut corroborée par l'Occident que neuf siècles plus tard. Source: NAZÉ Yaël, *Astronomie du passé - De Stonehenge aux pyramides mayas*, éditions Belin, 19 janvier 2018, p. 106.

C'est l'interprétation stricte qu'en fait le Japon. Ce fut exactement le même raisonnement pour la possession des îles Senkaku en 1895, elles font l'objet d'un litige avec la Chine (depuis 1970 lorsque des ressources naturelles y furent découvertes). Ces revendications découlent d'une conception différente de la notion de souveraineté. La vision de la Chine est plus coutumière (fondée sur l'histoire) tandis que celle du Japon est plus rigoriste (fondée sur le droit international²⁰⁴ : les îles n'appartiennent *a priori* à aucun État, mais puisque le Japon occupe l'île, il a le droit d'en exploiter les ressources, *mutatis mutandis* pour l'exploitation de la Lune ou des astéroïdes. C'est bien la raison pour laquelle le Japon a refusé de signer le traité international sur la Lune et les autres corps célestes de 1979²⁰⁵.

4.6.3 L'aspect éthique

Selon moi, les astéroïdes n'appartiennent à personne et l'être humain n'a pas le droit de s'approprier quelque chose qui en principe ne lui appartient pas. Sinon la voie de la colonisation de l'espace est ouverte...

Hormis l'aspect innovant de certaines missions liées aux comètes et astéroïdes, une question éthique se pose concernant l'exploitation des ressources énergétiques sur les astéroïdes et sur la Lune, en effet le Japon n'a pas signé le traité lunaire et de ce fait accepte implicitement l'exploitation minière par exemple des ressources en helium 3 (He-3²⁰⁶) sur le

²⁰⁴ Sources : COCAULT Carole et FLAMANT Camille, « Les îles Senkaku/Diaoyu, l'archipel de la discorde », Classe internationale, 30/11/2015 disponible à l'adresse suivante : <https://classe-internationale.com/2015/11/30/les-iles-senkakudiaoyu-larchipel-de-la-discorde/> (consultée le 7 novembre 2016) / LAGNEAU Laurent, « Le Japon proteste contre l'incursion d'un sous-marin nucléaire chinois près des îles Senkaku », Zone militaire, 16/01/2018, disponible à l'adresse suivante : <http://www.opex360.com/2018/01/16/japon-proteste-contre-lincursion-dun-marin-nucleaire-chinois-pres-iles-senkaku/> (consultée le 14 avril 2018) / ANKIT Panda, « Chinese frigate, unidentified submarine enter Japan-claimed waters near Senkaku islands », TheDiplomat.com, 12/01/2018, disponible à l'adresse suivante : <https://thediplomat.com/2018/01/chinese-frigate-unidentified-submarine-enter-japan-claimed-waters-near-senkaku-islands/> (consultée le 14 avril 2018) / ULIÈGE : Cours intitulé « Histoire de la Chine moderne : des guerres de l'opium à la chute de la dynastie Qing (1840-1911) » - Mr Stijn Declerck (2017-2018) : <https://www.programmes.uliege.be/cocoon/cours/ASIE0017-1.html>.

²⁰⁵ La plupart des puissances spatiales ont d'ailleurs refusé de signer ce traité pour les mêmes raisons (seules la France et l'Inde l'ont signé). Source : Accord régissant les activités des États sur la Lune et les autres corps célestes », New York, 5 décembre 1979, disponible à l'adresse suivante : https://treaties.un.org/pages/ViewDetails.aspx?src=TREATY&mtdsg_no=XXIV-2&chapter=24&lang=fr (consultée le 15 novembre 2014).

²⁰⁶ C'est un isotope rare de l'hélium. L'hélium 3 est rare sur Terre et abondant sur la Lune en raison des vents solaires (la sonde chinoise *Chang'e 1* a évalué en 2009 les réserves lunaires en helium-3 à 100.000 tonnes à comparer avec les 300 grammes s'échappant des entrailles terrestres par les volcans hawaïens). Il pourrait rendre la fusion nucléaire plus accessible et ouvrir des voies pour la production d'énergie électrique : 20 tonnes suffisent pour assurer la production annuelle d'électricité aux USA et *Ouyang Zihuan*, un astrophysicien cosmochimiste chinois estime que trois navettes spatiales Terre-Lune par an suffiraient à couvrir les besoins de l'humanité pour au moins dix mille ans. Cerise sur le gâteau,

sol sélène. Le même raisonnement vaut pour l'exploitation des ressources qui figurent dans les astéroïdes. L'homme, ne devrait-il pas être capable de gérer les ressources existant sur Terre au lieu de reconduire les mêmes erreurs ailleurs dans l'univers ?

Monsieur Seishiro KIBE, ex-conseiller scientifique principal à la JAXA (département Recherche et Relations Internationales) et ancien vice-président de la Fédération Aéronautique Internationale répond à cette question. Il pense que la survie de l'espèce humaine est primordiale et que d'une certaine manière, nécessité fait loi, tout en respectant au mieux l'environnement spatial (astre lunaire, astéroïdes) riche en matière énergétique.

Je ne partage pas ce point de vue, pour les raisons éthiques exposées ci-avant.

une centrale nucléaire à helium-3 ne produirait pas de déchets problématiques car cet isotope n'est pas radioactif. Cependant l'exploitation minière de la Lune affecterait sa surface de manière définitive (il faut traiter des millions de tonnes de régolithe pour extraire 1 seule tonne de He-3), ce n'est pas ce que l'on pourrait appeler un projet « éco-responsable ». Sources : ULg : « Exploration spatiale / Space exploration » - Mr Grégor Rauw (2014-2015) : <https://www.programmes.uliege.be/cocoon/cours/SPAT0035-1.html> / COURTOIS Hélène et TOGNINI Michel, *Explorateurs de l'espace - Voyage aux frontières de l'Univers*, éditions Dunod, Avril 2019, p 62.

De plus toutes considérations morales mises à part, se pose le problème technique du rapatriement sur terre des ressources extraites du sol lunaire (et du coût que cela implique). Notons que les USA, la Russie, la Chine et l'Inde ont aussi manifesté leur intérêt pour l'hélium 3. Tant la Lune que Mars sont de taille nettement moindre que la Terre, le bénéfice énergétique escompté semble surestimé car à terme, il serait toujours insuffisant une fois les ressources sur Terre épuisées. Source : MAGAIN Pierre (Faculté des sciences - Master en Sciences Spatiales ULg), « Où sont les extra-terrestres ? », Espace Universitaire de Liège, conférence du 3 avril 2014.

4.6.4 Les missions

4.6.4.1 La sonde Hayabusa-1 (はやぶさ)

En comparaison avec la NASA, le Japon a obtenu des résultats plus mitigés dans le domaine de l'exploration du système solaire. Cependant, la JAXA a devancé la NASA en réussissant à récupérer un échantillon de sol d'astéroïde grâce à sa sonde *Hayabusa-1*²⁰⁷ lancée le 9 mai 2003. La sonde *Hayabusa-1* fut lancée vers l'astéroïde *Itokawa*, (baptisée ainsi en l'honneur du fondateur de l'aéronautique japonaise Hideo ITOKAWA), elle fut chargée de se poser sur sa surface afin de récupérer un échantillon de son sol et le ramener sur Terre. La mission mit en œuvre divers domaines d'expertise²⁰⁸ dont la propulsion ionique²⁰⁹. Celle-ci ne nécessite qu'une faible poussée et requiert peu de carburant²¹⁰, un moteur ionique dispose d'un rendement 10 fois plus efficace qu'un système de propulsion chimique, elle peut servir à maintenir en orbite les satellites géostationnaires. *Hayabusa-1* rapporta notamment des échantillons de fer et de magnésium, mais il fallut attendre le 13 juin 2010²¹¹.

Cette mission fut un symbole de ténacité, courage et de non-reconcement à l'adversité, car la certitude d'obtenir des échantillons d'astéroïdes s'éroda lorsque la JAXA n'eût pas de nouvelles de la sonde. Il fallut attendre le retour de la sonde des années plus tard pour savoir si on avait pu récupérer des échantillons. Ce succès fit *in fine* l'objet d'une adaptation au cinéma²¹².

²⁰⁷ *Hayabusa* (探査機、はやぶさ) signifie "faucon pèlerin" en français, il correspond à la fois au nom du modèle de *Shinkansen* (新幹線、しんかんせん) ou « TGV » de type E5 (*Series E5*), et au nom d'une des lignes de ce modèle de TGV. Il parcourt la ligne la plus longue au Japon portant le nom de *Tohoku Shinkansen* mais donc aussi de *Hayabusa*, cette ligne fut mise en service en 1982 et relie Tokyo à Shin-Aomori. Sources: « Tohoku Shinkansen », JR East Japan Railway Company, disponible à l'adresse suivante: <http://www.jreast.co.jp/e/routemaps/tohokushinkansen.html> (consultée le 11 juillet 2018) / POUPEE Karyn, *Les Japonais*, Collection Texto, Editions Tallandier, 2012, p. 280.

²⁰⁸ Les domaines suivants : (1) recours à des moteurs ioniques, (2) atterrissage sur un corps céleste à très faible gravité, (3) rentrée atmosphérique à grande vitesse d'une capsule spatiale et (4) récupération d'un échantillon de sol d'un autre corps céleste.

²⁰⁹ *Hayabusa 1 n'est pas* la première sonde à utiliser la propulsion ionique: il y a eu *Deep Space 1* (NASA) et *SMART 1* (ESA) auparavant.

²¹⁰ La propulsion ionique a été étudiée par la NASA depuis les années cinquante. Source : DAWSON Linda, *The politics and perils of space exploration - Who will compete, who will dominate ?*, Springer editions, 22 November 2016, p. 184.

²¹¹ Le 7 octobre 2010, la JAXA confirma le retour d'une centaine de particules d'une taille inférieure à 0,001mm. Source : Lile Ajey, *Asian Space Race : Rethoric or Reality ?*, Springer editions, 2013, p. 106.

²¹² Source : « Robots in space - The movie », Riding with robots (blog), 7/10/2011, disponible à l'adresse suivante: <http://www.ridingwithrobots.org/2011/12/robots-in-space-the-movie/> (consultée le 11 juillet 2018).

4.6.4.2 La sonde Hayabusa-2 (はやぶさ)

Hayabusa-2 a été lancée le 3 décembre 2014. Comme son illustre prédécesseur, la mission comprend l'étude d'un astéroïde et le prélèvement d'un échantillon de sol qui doit être retourné sur Terre. La sonde *Hayabusa-2* se déplace encore actuellement dans notre système solaire. Le 20 juin 2018, la sonde était à 20 km de sa cible c.-à-d. l'astéroïde 1999 JU3 ou *Ryūgū*²¹³ (pour plus de détails voir l'annexe 2). Les scientifiques pensent que l'on pourrait y trouver des matériaux très anciens témoignant de la formation du système solaire (des composants des planètes, voire du Soleil lui-même). Il était prévu de larguer trois petits *rovers*²¹⁴ (dénommés MINERVA) d'à peine 2 kg ainsi que l'atterrisseur MASCOT, cube de 10 kg conçu par le Centre français des études spatiales (CNES) et des scientifiques allemands. Deux *rovers* MINERVA se sont effectivement déployés sur l'astéroïde le 21/09/2018, au moins l'un d'entre eux s'y déplace de manière autonome en transmettant des photos et des données²¹⁵, l'exploration mobile autonome sur un astéroïde est une première démontrant le degré d'innovation de la JAXA. La première phase de collecte devait débiter à la mi-octobre 2018, afin de collecter des échantillons de matière. Le retour sur Terre est prévu fin 2020.

Hayabusa-2 ressemble à un *dango*²¹⁶, en référence à une préparation culinaire sucrée très prisée au Japon, à base d'eau et de riz gluant ayant une forme sphérique.

Le 21 septembre 2017, la NASA et la JAXA se sont mises d'accord pour s'échanger des échantillons d'astéroïdes issus de leurs missions respectives²¹⁷ [mission *Hayabusa-2* de la JAXA vers l'astéroïde 162173 *Ryūgū* et mission OSIRIS-REx (*Origins, Spectral Interpretation,*

²¹³ *Ryugu* vient du terme *ryūgū-jō* (竜宮城、りゅうぐうじょう) signifiant « palais du dragon ». Sources : « Hayabusa-2 Rendezvous with Ryugu », JAXA, 27/06/2018, disponible à l'adresse suivante : http://global.jaxa.jp/press/2018/06/20180627_hayabusa2.html consultée le 10 juillet 2018) / « La sonde Hayabusa 2 est arrivée à sa cible, l'astéroïde Ryugu », Science et Avenir, Franck Daninos, 27/06/2018, disponible à l'adresse suivante : https://www.sciencesetavenir.fr/espace/la-sonde-hayabusa-2-est-arrivee-a-sa-cible-l-asteroide-ryugu_125104 (consultée le 11 juillet 2018) / GOYA Chisato, « Voici les principales missions spatiales à suivre en 2017 », Businessinsider.fr, 22/06/2017, disponible à l'adresse suivante : <http://www.businessinsider.fr/voici-les-principales-missions-explorations-spatiale-a-suivre-2017> (consultée le 27 juillet 2018).

²¹⁴ Un rover est un robot d'exploration mobile doté de capteurs.

²¹⁵ Source : JAXA, « MINERVA-II1: Successful image capture, landing on Ryugu and hop! », 22/09/2018, disponible à l'adresse suivante : <http://www.hayabusa2.jaxa.jp/en/topics/20180922e/> (consultée le 27 septembre 2018).

²¹⁶ *Dango* (団子、だんご) signifie « boulettes de riz ».

²¹⁷ Source : TALBERT Tricia, « NASA, JAXA reaffirm cooperation in space exploration », NASA, 05/06/2018, disponible à l'adresse suivante : <https://www.nasa.gov/feature/nasa-jaxa-reaffirm-cooperation-in-space-exploration> (consultée le 25 juillet 2018).

Resource Identification, Security, Regolith Explorer) de la NASA vers l'astéroïde 101955 *Bennu*].

4.6.4.3 *Le micro-satellite Tsubame* (燕)

La propulsion ionique avait été testée en 2010 avec *Hayabusa-1*. Elle l'est à nouveau, mais cette fois à très basse altitude, dans le cadre du projet SLATS.

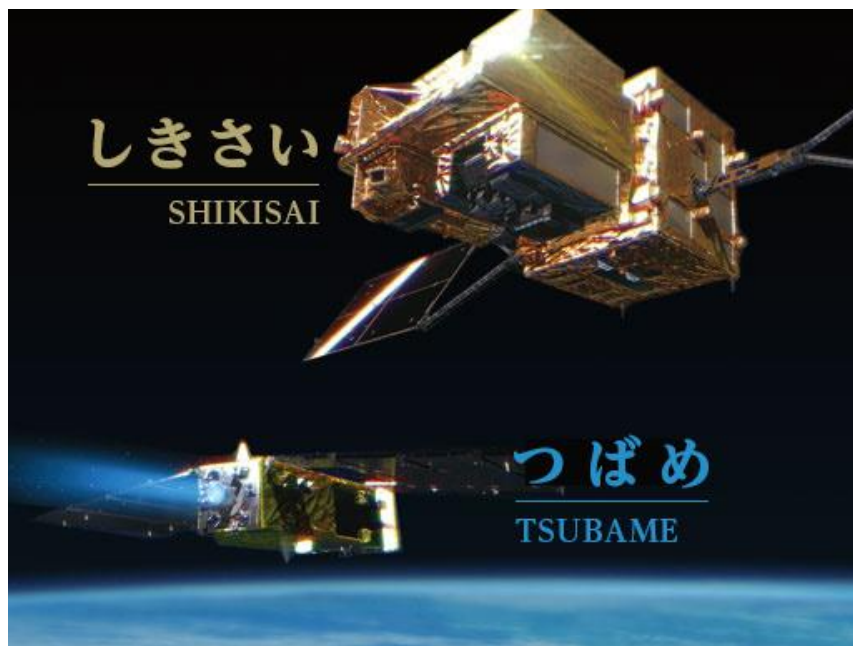
SLATS (*Super Low Altitude Test Satellite* - Satellite d'altitude extrêmement basse) ou *Tsubame*²¹⁸ est un micro-satellite expérimental développé par la JAXA, il fut lancé le 23 décembre 2017. Il a pour objectif de tester le recours à un moteur ionique en orbite très basse (< 300 km) sur une longue période. Notons que *Tsubame* (voulant dire « hirondelle » en japonais) est aussi le nom d'un super-ordinateur²¹⁹ nippon (créé par Sun Microsystems en 2006), une nouvelle version développée par Silicon Graphics International Corporation faisant large part à l'intelligence artificielle est à l'étude depuis février 2017.

Pourquoi cette mission ? Le gros inconvénient de l'orbite très basse est la grosse consommation d'ergols (de carburant) pour se maintenir à cette très basse altitude. Les avantages de cette orbite dans le cadre des missions d'observation de la Terre sont les suivants : (1) les instruments optiques bénéficient d'un pouvoir de résolution plus élevé, (2) les liaisons radio exigent des émetteurs moins puissants et (3) la mise en orbite nécessite un lanceur moins puissant donc moins cher. Cette mission permet de lever cet inconvénient majeur mentionné ci-dessus en limitant la quantité d'ergols emportée. En effet, on l'a vu avec *Hayabusa-1*, un moteur ionique dispose d'un rendement dix fois plus efficace qu'un système de propulsion chimique.

²¹⁸ *Tsubame* (燕、つばめ) signifie « hirondelle ». Le choix du nom s'est opéré en 2014 par une campagne de la JAXA auprès du public. Sources: « Test Satellite "TSUBAME" (SLATS) », JAXA, 1/06/2018, disponible à l'adresse suivante: <http://global.jaxa.jp/projects/sat/slats/> (consulté le 9 juillet 2018) / « SLATS (Super Low Altitude Test Satellite) / Tsubame », ESA, Earth Observation Portal Directory (eaPortal News), disponible à l'adresse suivante: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/s/slats> (consultée le 23 juillet 2019).

²¹⁹ Chris McKay, planétologue de la NASA, docteur en astrogéophysique précise qu'à l'époque où il rédigeait sa thèse de doctorat, la puissance informatique qui coûtait 10 millions \$ en 1980 sur un super-ordinateur Cray coûte à l'heure actuelle moins de 100 \$. Ainsi le développement des nouvelles technologies (dont l'informatique permettant d'augmenter la puissance de calcul) rend possible l'établissement d'une base lunaire à moindre coût qu'auparavant. D'ailleurs selon lui ce sont les technologies sur Terre (robotique, impression en 3D, ...) qui seront utiles sur la Lune et moins l'inverse (les technologies utilisées sur le sol sélène auraient un impact plus limité sur Terre). Source : SANGUY Marie Ange, « Bases lunaires - On repense tout! », Espace Exploration n° 33, Mai-Juin 2016, pp. 50-51.

Le 29 août 2019, *Tsubame* a transmis depuis l'espace à très basse orbite (à une altitude de 217 km au-dessus de *Nobeoka* dans la préfecture de *Miyazaki*), des photos du *Kumamoto Kyushu Shinkansen* (train à grande vitesse portant d'ailleurs le même nom que le micro-satellite). La mission peut dès lors être considérée comme un succès²²⁰. Ce degré de précision photographique (le satellite permet de photographier des gens au sol avec une grande netteté) pourrait s'avérer bien utile dans le cadre de la gestion des désastres naturels.



Tsubame en compagnie de *Shikisai* [ce dernier étant un satellite d'observation de la Terre faisant partie de la mission GCOM (*Global Change Observation Mission*)]. *Tsubame* a atteint son orbite très basse en août 2019.

Sources: « Test Satellite "TSUBAME" (SLATS) », JAXA, 1/06/2018, disponible à l'adresse suivante: <http://global.jaxa.jp/projects/sat/slats/> (consulté le 9 juillet 2018) / « Operational Update, Super Low Altitude Test Satellite (SLATS) », JAXA, 1/06/2018, disponible à l'adresse suivante: http://global.jaxa.jp/press/2018/06/20180601_slats.html (consultée le 24 juillet 2018).

4.7 Le transfert vers la Terre de l'énergie solaire

Le Japon a le leadership mondial de la technologie liée à la gestion de l'énergie solaire depuis l'espace extra-atmosphérique (*Space Solar Power System*). Le Japon est le seul pays à

²²⁰ Source : MINAKOSHI Kazuya, « The Shinkansen was visible from space! I tried shooting the Kyushu Shinkansen "Tsubame" from the artificial satellite "Tsubame" », *trafficnews.jp*, 31/08/2019, disponible à l'adresse suivante: <https://trafficnews.jp/post/89251> (consultée le 15 octobre 2019).

être aussi avancé dans la mise en œuvre d'une centrale solaire spatiale destinée à être opérationnelle en 2030²²¹, ceci constitue un autre exemple démontrant les capacités d'innovation de la JAXA.

- Disposer de panneaux solaires sur la Lune dans le but de fournir de l'énergie verte sur Terre²²² est certes une idée innovante, mais le Japon n'en n'a pas la paternité²²³.
- Indubitablement, l'espace est un enjeu stratégique pour l'utilisation de l'énergie solaire (l'agence spatiale japonaise JAXA a pour projet de placer un satellite géostationnaire en charge de capter -via panneaux solaires- et de transmettre sur Terre les rayonnements solaires²²⁴ transformables en électricité). La technologie est semble-t-il mature.

- Il s'agit du projet *Space Solar Power System (SSPS)*, un système à énergie solaire est placé dans l'espace et la puissance énergétique est transmise au sol sous forme de micro-onde ou de laser afin de servir de générateur électrique²²⁵.

La JAXA a collaboré avec le METI (*Ministry of Commerce, Trade and Industry*, le ministère du commerce japonais) dans le cadre de recherche sur la forme de la puissance énergétique (micro-ondes et laser). Dix-sept sociétés sont impliquées dont Mitsubishi et Fujitsu. Avec la menace du réchauffement climatique, il n'est plus inconcevable que de telles installations puissent, d'ici 2050, fournir à la Terre une énergie propre et inépuisable à un coût non prohibitif. Le SSPS devrait être opérationnel en 2030 (mais la faisabilité d'un assemblage robotisé dans l'espace des éléments constitutifs d'une structure photovoltaïque serait d'abord évaluée en 2020 par la mise en oeuvre d'un prototype à taille réduite) et fournir

²²¹ Source : « Research on the Space Solar Power Systems (SSPS) », JAXA, disponible à l'adresse suivante : <http://www.kenkai.jaxa.jp/eng/research/ssps/hmi-faq.html> (consultée le 20 mars 2019).

²²² Source : « Japanese company proposes to build solar power cells on the Moon to provide clean energy to Earth », Space Industry News, disponible à l'adresse suivante : <http://spaceindustrynews.com/japanese-company-proposes-to-build-solar-power-cells-on-the-moon-to-provide-clean-energy-to-earth/> (consultée le 26 juin 2018).

²²³ Les tentatives chinoises et russes de création d'une lune artificielle pour l'éclairage urbain ont toutes échoué.

²²⁴ D'autres agences spatiales ont le même projet mais c'est la JAXA qui est techniquement la plus avancée. Sources : TREGOUËT René (sénateur honoraire et fondateur du groupe de prospective du Sénat français), « Le Japon veut construire une centrale solaire spatiale », Notre-planete.info, 22/10/2009, disponible à l'adresse suivante : http://www.notre-planete.info/actualites/actu_2146_centrale_solaire_spatiale.php (consulté le 21 août 2015) / Basic Plan of Space Policy, JAXA, 25/06/2013, p. 28, disponible à l'adresse suivante : <http://www8.cao.go.jp/space/plan/plan-eng.pdf> (consultée le 29 juin 2018).

²²⁵ Pour fournir 1 million de kW, l'instrument dans l'espace devrait avoir une taille de 2 Km², et le récepteur au sol un diamètre de 3 Km). Source : Basic Plan of Space Policy, JAXA, 25/06/2013, p. 29, disponible à l'adresse suivante : <http://www8.cao.go.jp/space/plan/plan-eng.pdf> (consultée le 29 juin 2018).

un tarif par kilowatt-heure (kWh) six fois moindre qu'aujourd'hui²²⁶, mais cela semble difficile, voire même contradictoire, vu le coût « astronomique » du projet (voir ci-dessous).

- Les problèmes rencontrés dans le cadre du SSPS sont en gros les suivants :
 - La technologie (la nécessité de transporter une structure de grande taille dans l'espace, la construction -mais aussi la maintenance- d'un générateur de puissance dans l'espace, ainsi que l'accès à l'énergie)
 - La sécurité (effets sur l'homme, ...)
 - La rentabilité ou la performance économique (réduire le coût du transport vers l'espace est un sérieux défi) sachant que le coût estimé du SSPS est de 21 milliards \$.

5. L'influence historique et culturelle japonaise

5.1 Le passé

Le présent chapitre s'inspire de l'histoire du Japon en ce compris sa mythologie.

5.1.1 Les notions de *Yugen* (幽玄) et *Muga* (無我) ou la recherche de l'excellence

Le *Yugen*²²⁷ signifie la « conscience de l'univers » ou la « beauté profonde ». Il signifie aussi la « profondeur mystérieuse », que ce soit dans l'ouvrage « les 100 poèmes » (dans le sens « mettre le voile sur ») de Fujiwara no Teika (à l'époque Kamakura de +1185 à +1333), ou que ce soit que dans le théâtre *Nō*²²⁸ (ou d'ailleurs il signifie aussi la « beauté esthétique surnaturelle ») de Ze Ami (la notion de *Yugen* figure en +1400 dans son traité sur l'art théâtral dénommé en japonais *Fushi Kaden* à l'époque Muromachi de +1333 à +1573).

La tendance *Ga*²²⁹, comme courant littéraire se caractérise par la recherche de la perfection, elle se fonde sur la reproduction de standards et de modèles. Elle s'oppose à la tendance

²²⁶ 8 yens (0,06 €) par kilowatt-heure (kWh). Source : TREGOUËT René (sénateur honoraire et fondateur du groupe de prospective du Sénat français), « Le Japon veut construire une centrale solaire spatiale », Notre-planete.info, 22/10/2009, disponible à l'adresse suivante : http://www.notre-planete.info/actualites/actu_2146_centrale_solaire_spatiale.php (consulté le 21 août 2015).

²²⁷ *Yugen* (幽玄、ゆうげん) signifie « profondeur mystérieuse » ou « beauté cachée ».

²²⁸ *Nō* (能) fait référence au théâtre *Nō* unissant deux traditions : les pantomimes dansées et les chroniques versifiées, il est composé de drames lyriques des XIV^e et XV^e siècles, dont le jeu des acteurs est extrêmement dépouillé et codifié. Source : « Initiation à la littérature japonaise » - Mme Kanako Goto - Université de Liège (2017-2018) : <https://www.programmes.uliege.be/cocoon/cours/ASIE0010-1.html>.

²²⁹ *Ga* (雅、が), une abréviation du terme *gabun* (雅文、がぶん) signifie « élégance ». Le courant littéraire *ga* repose sur le conformisme par rapport au courant *zoku* (俗、ぞく) plus porté vers l'exploration littéraire et signifiant « vulgaire » ou « populaire ». L'alternance de l'usage de ces deux courants dans l'histoire de la littérature japonaise est un fait avéré, comme le démontre le cours de Madame Goto. Source : *Ibid.*

Zoku fondée sur la recherche de spontanéité en « cassant les codes établis ». Tant « les 100 poèmes » que « le théâtre Nō » sont représentatifs de la tendance *Ga*.

La quête de la perfection se retrouve également dans la notion de *Muga*²³⁰ (une « perte de son moi », l'oubli de l'auto-observation, un « silence mental » permettant d'acquérir un état d'excellence dans l'action²³¹), une notion directement héritée du bouddhisme Zen, pratiquée par les japonais²³². Ainsi des techniques mentales de discipline de soi permettent aux japonais de respecter leurs obligations tant dans le domaine privé que professionnel.

Qu'il s'agisse de littérature ou de religion, la recherche de la perfection fait donc historiquement bel et bien partie de la culture japonaise²³³. Il n'est dès lors pas étonnant qu'elle s'applique encore aujourd'hui et notamment dans le cadre des activités spatiales.

5.1.2 Le code d'honneur

Le code d'honneur imposa, par exemple, les excuses publiques du directeur de la JAXA lors d'une conférence de presse au terme de l'échec de la mission « *Hitomi* » démontrant un *Mea Culpa* vis-à-vis des chercheurs japonais et internationaux²³⁴.

Le *bushidō*²³⁵ ou code d'honneur du samurai comporte sept vertus dont l'honneur (dans le sens de réputation). Ainsi, l'honneur se réfère précisément au « *Giri* envers son propre nom » : « l'honneur se conserve et se transmet par le nom, qui devient pour le samurai un habitacle. Une offense à ce nom est une offense à la dignité de l'homme qui le porte ». Une des sources du *bushidō* est le bouddhisme, et particulièrement le bouddhisme zen car ce dernier vise au perfectionnement de l'âme.

²³⁰ Le *muga* (無我、むが) signifie « l'effacement de soi ».

²³¹ Source : AFFERGAN François, « Le Japon à fronts renversés. Stoetzel versus Benedict », Cairn.info, disponible à l'adresse suivante : <https://www.cairn.info/revue-l-annee-sociologique-2012-1-page-23.htm> (consultée le 19 septembre 2018).

²³² Pour plus de détails voir l'annexe 8. Source : BENEDICT Ruth, *Le Chrysanthème et le sabre*, Editions Philippe Picquier, 19 mai 1998, pp. 267-270.

²³³ Ceci fut clairement démontré par Madame Kanako Goto et par Madame Edith Culot dans le cadre de leurs cours respectifs de littérature japonaise et de religion japonaise à l'Université de Liège. Sources : « Initiation à la littérature japonaise » - Mme Kanako Goto - Université de Liège (2017-2018) : <https://www.programmes.uliege.be/cocoon/cours/ASIE0010-1.html> et « Introduction aux religions du Japon : shintoïsme et bouddhisme » - Mme Edith Culot - Université de Liège (2018-2019) : <https://www.programmes.uliege.be/cocoon/cours/ASIE0009-1.html>.

²³⁴ Ces chercheurs auraient pu attendre légitimement des résultats issus de cette mission. Ce *Mea-Culpa* public est impensable en Occident surtout s'il s'agit de s'excuser aussi vis-à-vis de non japonais. Voir le chapitre 4.1 et l'annexe 8.

²³⁵ *Bushidō* (武士道、ぶしどう) signifie code d'honneur. C'est une philosophie morale et martiale. Les sept vertus sont les suivantes : (1) la rectitude ou la justice, (2) le courage, l'esprit d'audace et la maîtrise de soi, (3) la bienveillance et la compassion, (4) la politesse, (5) la véracité et la sincérité, (6) l'honneur et (7) le devoir de loyauté. Source : IZANŌ Nitobe, *Bushidō : l'âme du Japon*, Budo éditions, 25 mai 2009, 190 p. (première parution en 1900).

5.1.3 Le repli sur soi puis l'ouverture

Le pays se ferma d'abord à la Chine en 894 (à l'époque *Heian* de +794 à +1192). Cette fermeture eut au départ des conséquences heureuses, car elle déboucha sur l'utilisation des *kana* (les syllabaires *hiragana* et *katakana*) aux environs de l'an +1000²³⁶ puisque le Japon avait enfin un système d'écriture qui lui était propre. *Ki no Tsurayuki*, fonctionnaire à la Cour impériale, poète et critique littéraire en sera son grand promoteur. Le pays fut ouvert de force en 1868 (époque *Edo* de +1600 à +1868) alors qu'il était refermé sur lui-même dès 1641 (le *Sakoku*²³⁷). Là encore, la fermeture du pays poussa la Japon à innover ; cela mena à la création d'un nouvel art : la xylographie (c.-à-d. la peinture sur bois).

Ce sont les périodes de repli sur soi qui ont permis au Japon de fonder sa « japonicité » dans le sens de fierté nationale à ne surtout pas comprendre par nationalisme dans un sens péjoratif.

On doit à Sakuma SHOZAN (un samuraï de la fin de l'époque shogunale décédé en 1864) l'expression *wakon yōsai* (和魂洋才、わこんようさい) laquelle signifie « âme japonaise, savoir étranger ». Il préconisa, afin d'éviter une colonisation du Japon, une politique d'ouverture envers l'Occident reconnaissant la supériorité de ce dernier : une ouverture aux sciences et techniques occidentales afin de renforcer la nation, certes, mais une ouverture dans l'esprit de la tradition japonaise²³⁸. Cet esprit a d'ailleurs permis un progrès qui dépasse encore de nos jours dans certains domaines celui des pays occidentaux (par

²³⁶ Sources : cours ULiège intitulé « Initiation à la littérature japonaise » - Mme Kanako Goto (2017-2018) : <https://www.programmes.uliege.be/cocoon/cours/ASIE0010-1.html> / The editors of Encyclopaedia Britannica, « Kana », britannica.com, disponible à l'adresse suivante: <https://www.britannica.com/topic/kana> (consultée le 2 décembre 2018).

²³⁷ *Sakoku* (鎖国、さこく) signifie « pays enchaîné », « isolation du pays », « fermeture au monde extérieur » (sauf vis-à-vis de la Chine, de la Corée et des Pays-Bas). Source : *Ibid.*

²³⁸ C'était un subtil arbitrage entre les partisans de l'isolement du pays [les xénophobes prônant le *wakon wasai*, (和魂和裁、わこんわさい) c.-à-d. « âme japonaise, savoir japonais] et les adorateurs de l'Occident [prônant le *yōkon yōsai* (洋魂洋才、ようこんようさい) c.-à-d. « âme étrangère, savoir étranger »] allant même jusqu'à conseiller d'européaniser la culture (en ce compris la langue en abandonnant ainsi le japonais, proposeront même certains quelques années plus tard, voir le chapitre 2.3) en même temps que les techniques. Source : AUROUX Sylvain, *La pensée japonaise*, Presses Universitaires de France, Janvier 2019, p. 101. Quoi qu'il en soit, le Japon a profité des phases d'ouvertures tant auprès de la Chine (dans les temps anciens) que de l'Occident (à l'époque Meiji) pour opérer des transferts sélectifs de technologie. La socioculture japonaise fonctionne par accréation mais Il ne s'agit pas de simple reproduction au sens strict, le mot japonais *mitate* (見立て、みたて) signifiant « diagnostic » et son verbe corollaire *mitateru* (見立てる、みたてる) signifiant « avoir un autre regard », illustrent ce propos. Source : PELLETIER Philippe, *La fascination du Japon - idées reçues sur l'archipel japonais*, 3^{ème} édition, Le Cavalier Bleu, 23 août 2018, p. 163.

exemple, les activités spatiales identifiées comme innovantes dans ce mémoire), cependant il entraîne des difficultés pour faire comprendre le Japon, contribuant à isoler le pays au reste du monde. Si les japonais n'éclaircissent pas eux-mêmes la signification de leur spiritualité nationale (*wakon*, 和魂、わこん) dans le monde d'aujourd'hui, cet isolement en dépit du développement économique, voire même au contraire à cause de ce développement, pourrait se creuser davantage²³⁹.

Selon Monsieur Jacques GRAVEREAU, cette capacité d'innovation serait aussi liée à la notion de *tenkan* (転換、てんかん), c.-à-d. de « retournement ». Il s'agit d'une capacité collective d'adaptation souple mais radicale à une nouvelle situation quitte à adhérer en même temps à de nouvelles valeurs²⁴⁰, en ayant acquis l'intime conviction du bien-fondé de ces dernières. Ce fut le cas tant lors de l'époque Meiji que juste après la défaite de la seconde guerre mondiale, qui furent toutes deux, des périodes d'ouverture forcée envers l'Occident.

L'ouverture se traduit de nos jours notamment, par la coopération internationale. *A priori*, la coopération internationale n'est pas ce que l'on attend en premier du Japon vu son histoire et sa méfiance naturelle (souvent à raison d'ailleurs) vis-à-vis de l'Occident.

- Cependant, le pays fut réellement ouvert depuis 1945, en témoigne sa forte coopération internationale (de par ses nombreuses missions spatiales conjointes²⁴¹, de par son rôle de la JAXA dans l'ISS en ayant créé deux modules spatiaux -un scientifique et un de ravitaillement-) sauf avec la Chine. Le refus de coopérer avec cette dernière s'explique par le climat de tension politique (lequel a aussi des sources historiques), le fait que les deux pays soient des concurrents majeurs au niveau commercial et le fait que le Japon craigne l'espionnage technologique chinois).

²³⁹ Dans un premier temps, le Japon s'est certes modernisé, mais dans une autre direction que celle des pays occidentaux de par ses différences culturelles. Le Japon s'est ouvert à l'occident pour se moderniser mais paradoxalement, suite aux spécificités de la culture japonaise et en particulier l'esprit japonais si difficile à cerner pour un étranger, cette ouverture a, même encore actuellement, de nouveau contribué à isoler le pays sur la scène internationale. *Source* : *Ibid.* pp. 101-104.

²⁴⁰ Ce changement de valeurs est d'autant plus facile qu'en Asie orientale les valeurs morales d'impermanence et de relativité sont somme toute très générales et perméables à des adaptations lorsque les circonstances l'exigent. Le Japon, comme la Chine d'ailleurs, ont un tel sentiment de grandeur de leur civilisation qu'ils se sont refusés à en préciser trop les détails et à s'y enfermer. Hormis une certaine forme de hiérarchie dominée par les anciens, les règles qui gouvernent la vie de la société peuvent, sans dommage majeur, être changées. Ceci est sans nul doute un atout lorsqu'il s'agit d'innover. *Source* : GRAVEREAU Jacques (Institut HEC-Eurasia), *Le Japon au XXème siècle*, Seuil, 2 avril 1993, pp. 144-145.

²⁴¹ Exemples : (1) *Hitomi* = Japon + USA / (2) *Suzaku* = Japon + USA (Rayons X) / (3) *Bepi-Columbo* : Europe + Japon (mission vers Mercure) (lancement en octobre 2018) / (4) *Spica* : Japon + Europe (infra-rouge, voir le chapitre 4.2).

- Seule la JAXA, alors qu'elle peut financer un projet dans son intégralité, peut décider d'aider une autre puissance spatiale gratuitement (en cédant du temps d'observation d'un satellite, par exemple), mais en y mettant une condition : avoir un chercheur japonais²⁴² au sein de la puissance spatiale intéressée. Outre le fait que ceci puisse servir à renforcer la coopération entre les deux agences spatiales, cela permet surtout à la JAXA d'obtenir les informations recherchées, mais également de comprendre dans quel cadre les informations livrées ont une utilité (bref, d'acquérir des connaissances sur les travaux de recherche des autres agences).
- Comme le fait remarquer Monsieur Seishiro KIBE, ex-conseiller scientifique principal à la JAXA (département Recherche et Relations Internationales) et ancien vice-président de la Fédération Aéronautique Internationale , l'ISAS²⁴³ (un institut académique en charge des sciences spatiales et de la mise en œuvre des missions scientifiques) était déjà marqué par un grand degré d'ouverture, tant au niveau national (favorisant la collaboration entre l'ensemble des universités japonaises²⁴⁴) qu'au niveau international. Il souligne, qu'à cela s'ajoute le facteur humain, c.-à-d. les compétences académiques du corps professoral et des chercheurs. Ces caractéristiques s'appliquent également de nos jours à la JAXA, héritière de l'ISAS depuis 2003. Ainsi, l'innovation aurait donc sa source dans le facteur organisationnel (l'ouverture de l'agence spatiale au monde académique japonais et étranger) et humain (les qualités intrinsèques du corps académique). Monsieur KIBE mentionne également le fait que paradoxalement le manque de budget a forcé le NAL (*National Aeronautic Laboratory* créé en 1955, un consortium universitaire consacré à la recherche aéronautique) à se montrer innovant en se focalisant sur certaines technologies de pointe (l'expérience *KITE* découlerait ainsi des activités de recherche de l'ancien NAL, lequel fut intégré à la JAXA en 2003).

En conclusion, la capacité d'innovation du Japon, incontestée de nos jours, a été possible tant pendant les périodes de fermeture que pendant les périodes d'ouverture du pays.

²⁴² Soit l'ESA par exemple propose un chercheur japonais, soit la JAXA le lui en « impose » un.

²⁴³ L'ISAS (*Institute of Space and Astronautical Science*) créé en 1964 était une des trois composantes de la JAXA, il dépendait du Ministère de l'éducation (pour plus de détails à ce sujet, voir le chapitre 3.2.1). Monsieur KIBE souligne que les missions *Hitomi*, *Spica*, *Akatsuki*, *Hayabusa* et *Hiten* furent pour la plupart lancées sous l'impulsion de l'ISAS.

²⁴⁴ Dans le cadre de l'établissement du programme spatial national, l'ISAS sélectionnait les missions à mettre en œuvre parmi les missions scientifiques proposées par les diverses universités japonaises. La JAXA procède de même de nos jours et les universités collaborent le plus souvent entre elles.

5.1.4 L'influence des dieux et déesses de la mythologie

Selon la mythologie japonaise, *Izanagi no Mikoto*, et sa sœur *Izanami no Mikoto*, ont créé les kamis²⁴⁵ (les mi-dieux mi-démons japonais) et l'archipel du Japon. *Izanagi* créa la déesse solaire *Amaterasu Ōmikami*²⁴⁶ dont chaque empereur japonais est censé descendre.

Dès lors, les missions spatiales solaires japonaises ne semblent pas être le fruit du hasard.

Les kamis (divinités) dans la religion shintoïste sont issus de la nature, toute catastrophe naturelle est interprétée comme étant un message (de mécontentement) de leur part, dès lors il n'est pas illogique de penser que le programme spatial japonais serve aussi inconsciemment à observer les activités des kamis...

Les noms de missions spatiales sont souvent issus de la religion japonaise, ainsi *Hiten* provient du nom d'un ange bouddhiste (voir le chapitre 4.3).

Les noms d'astéroïdes peuvent provenir de l'histoire japonaise (ici les deux textes étant considérés comme étant à la base de l'histoire du Japon), ainsi le *Kojiki*²⁴⁷ (astéroïde n° 5454) porte le même nom que le « recueil des chroniques anciennes », et le *Nihonsyoki* (astéroïde n° 5082) porte un nom dérivé du *Nihon Shoki* (« les annales du Japon »). *Amaterasu*²⁴⁸ (astéroïde n° 10385) porte le même nom que celui de la déesse solaire telle que décrite dans la mythologie japonaise.

Sylvain AUROUX dans son livre intitulé « La pensée japonaise »²⁴⁹, a étudié la signification du caractère mystique et religieux de la nature²⁵⁰ au Japon au travers du mouvement qui

²⁴⁵ *Kami* (神、かみ) signifie « divinité de la nature » dans le shintoïsme.

²⁴⁶ *Amaterasu ōmikami* (天照大神、あまてらすおおみかみ) est la déesse du Soleil dans la mythologie japonaise.

²⁴⁷ Le *Kojiki* (古事記、こじき) signifie « recueil des chroniques anciennes », il a été écrit en +712 en *hentai-kabun* (chinois classique japonisé) par Ō no Yasumaro. Ce document décrivant les divinités et les légendes mythiques y associées, est considéré comme la source officielle de l'histoire du Japon, il a une vocation politique puisqu'il justifie la prise du pouvoir de l'empereur de l'époque. Le *Nihon Shoki* (日本書紀、にほんしょき) signifie « les annales du Japon », le texte a été écrit en +720 en chinois par Ō no Yasumaro. Ce texte comportant à la fois des mythes et récits historiques est une source de l'histoire du 7^{ème} siècle. Les deux astéroïdes *Kojiki* et *Nihonsyoki* ont été découverts en 1977 par Hiroki Kosai et Kichiro Hurokawa. Sources : cours ULiège intitulé « Initiation à la littérature japonaise » - Mme Kanako Goto (2017-2018) : <https://www.programmes.uliege.be/cocoon/cours/ASIE0010-1.html> / « List of minor planets: 5001-6000 », Infogalactic.com, disponible à l'adresse suivante: http://infogalactic.com/info/List_of_minor_planets:5001%E2%80%936000#401 (consultée le 2 décembre 2018).

²⁴⁸ *Amaterasu* (アマテラス) est un astéroïde portant le même nom que celui de la déesse solaire du Japon. Son nom scientifique exact est « 10385 Amaterasu (1996 TL12) ». Il a été découvert en 1996 par Yoshisada Shimizu et Takeshi Urata. Source : « 10385 Amaterasu (1996 TL12) », NASA Jet Propulsion Laboratory Small-Body Database Browser, disponible à l'adresse suivante: <https://ssd.jpl.nasa.gov/sbdb.cgi?sstr=10385> (consultée le 14 mars 2019).

²⁴⁹ Source : AUROUX Sylvain, *La pensée japonaise*, Presses Universitaires de France, Janvier 2019, 104 p.

l'anime lié au mouvement générateur de croissance dans l'univers. Selon le *kojiki*, les divinités sont nées du jaillissement de l'énergie de croissance, au commencement de l'univers. L'univers désigne ainsi l'ensemble des dieux et des choses ainsi que le mouvement générateur qui les anime. Non seulement les japonais ne croient pas en un Dieu créateur de nature anthropomorphe (une vision occidentale des choses), mais ils ne pensent pas non plus qu'il existe un ordre reliant l'univers²⁵¹. Au Japon l'univers est donc un mouvement qui fait apparaître les dieux et tous les êtres. Le moine bouddhiste Kamo-no-chōmei illustre d'ailleurs en 1212 dans le *hōjōki* (方丈記, « Notes de ma cabane de moine de dix pieds carrés ») ce sentiment typique existentiel des japonais faisant référence à la source de l'univers : « qui sait de quel endroit viennent, et où vont les hommes de la naissance à la mort ? »²⁵².

5.1.5 L'attraction envers la technique selon le *Taihō-risturyō* (大宝律令)

A la fin de la période *Asuka*²⁵³ (+538 à +710), l'empereur TEMMU « invente » la fonction impériale par la promulgation de codes et la création d'une administration impériale. Le pays se dote d'un arsenal juridique assez complet. Le code *Taihō*²⁵⁴ d'inspiration chinoise (dynastie *Tang*) fut promulgué en 701. Il définit le code pénal et le droit administratif civil. Outre les membres de la Cour impériale, seules deux catégories de citoyens étaient exemptes d'impôt : les fonctionnaires et les « artisans-fonctionnaires ». En effet, les artisans capables de maîtriser les techniques de haut niveau importées de Chine et de Corée avaient l'obligation, imposée par l'État, de transmettre de manière héréditaire ces savoirs et techniques. Les plus doués parmi ces artisans formateurs avaient rang de « membre de Cour » et de ce fait étaient exemptes d'impôt. Certains historiens japonais pensent que ce

²⁵⁰ *Onozukara* (自ずから、おのずから) signifie naturellement, allant de soi. Mais le mot japonais d'origine chinoise pour cette même notion est *shizen* (自然、しぜん). Source : *Ibid.*, p. 64. La nature a, au Japon, deux acceptions. Elle a à la fois un sens traditionnel (religieux) n'incluant pas la notion d'ordre et un sens scientifique incluant la notion d'ordre. Les sciences de la nature se traduisent par *shizenkagaku* (自然科学、しぜんかがく). Source : *Ibid.* p. 73.

²⁵¹ A l'inverse du confucianisme chinois dans lequel le Ciel (*li*, 禮) signifie également ordre ou raison, le confucianisme le plus japonisé supprime totalement cette notion d'ordre, dès lors seule compte la position de l'homme face au Ciel. Source : *Ibid.*, pp. 67-68.

²⁵² Notons que le *hōjōki* fait partie du genre *Inja Bungaku* (隠者文学、いんじゃぶんがく, essai d'ermites), il ne peut s'agir que d'une littérature de tendance *Zoku* donc spontanée « cassant les codes établis » (le moine ermite fuyant la cour impériale, elle-même par nature prônant la tendance *Ga*). Source : « Initiation à la littérature japonaise » - Mme Kanako Goto - Université de Liège (2017-2018) : <https://www.programmes.uliege.be/cocoon/cours/ASIE0010-1.html>.

²⁵³ *Asuka* (飛鳥時代、あすか) correspond à la période de l'histoire du Japon « Asuka » (+538 à +710).

²⁵⁴ *Taihō-risturyō* (大宝律令). Le système des codes (*risturyō sei*) comprend le *ristsu* (code pénal) et le *ryō* (droit administratif civil). Ce code introduisit de manière manifeste le confucianisme dans le code de conduite des affaires impériales, en outre il inaugure vraisemblablement le système des ères du calendrier. Source : SOUVRI Pierre-François : *Nouvelle histoire du Japon*, Editions Perrin, 2 septembre 2010, p. 122.

système a déterminé au Japon un rapport privilégié avec la technique²⁵⁵. Ce rapport a perduré de nos jours avec la technologie.

Au Japon il n'y a pas de rupture entre la science et la technologie²⁵⁶. Le mot japonais *kagakugijutsu* (科学技術、かがくぎじゅつ) signifie « science et technologie » ou « technique scientifique ». Les japonais se passionnent d'abord pour les procédés, ensuite ils étudient les idées qui ont présidé à leur création puis procèdent à des améliorations c.-à-d. des innovations. C'est ainsi que les artisans formateurs japonais ont créé la porcelaine imari (伊万里焼、いまりやき) en bleu et blanc après avoir étudié la fameuse porcelaine coréenne²⁵⁷. Cette absence de rupture a perduré de nos jours, elle se conjugue à la curiosité et à l'attrait pour la nouveauté du peuple japonais. Ces facteurs, ainsi que le soutien (notamment financier), pour des raisons économiques, tant de l'état que du secteur privé, à l'innovation, expliquent sa présence, laquelle ne doit donc rien au hasard. Le Japon est donc devenu au fil du temps une « machine à innover ».

5.2 Le présent

Il convient de ne pas sous-estimer l'influence de la culture japonaise (les mœurs, les us et coutumes, la philosophie, les religions) sur les activités du pays. Ainsi, la prégnance des trois grandes racines culturelles historiques (la philosophie néo-confucianiste, les deux religions que sont le Bouddhisme et le Shintoïsme) restent bien présentes de nos jours²⁵⁸. Toutefois pour la partie historique -même si elle conserve encore un impact actuel- je me réfère au chapitre 5.1.

Pour ce chapitre, je me suis référé principalement à trois auteurs : d'abord (1) Karyn POUPEE²⁵⁹, *Les Japonais*, un ouvrage d'une journaliste française travaillant au Japon, ensuite (2) Ruth BENEDICT²⁶⁰, *Le Chrysanthème et le sabre*, un livre utilisé en 1945 afin d'informer les soldats américains des comportements à éviter envers le peuple japonais (ce livre reste d'actualité), et enfin (3) Hisayasu NAKAGAWA²⁶¹, *Introduction à la culture japonaise*.

²⁵⁵ Source : *Ibid.* p. 126.

²⁵⁶ Source : PELLETIER Philippe, *La fascination du Japon - idées reçues sur l'archipel japonais*, 3^{ème} édition, Le Cavalier Bleu, 23 août 2018, p. 146.

²⁵⁷ Source : *Ibid.* p. 162.

²⁵⁸ Voir à ce sujet l'annexe 9 intitulée « Quelques valeurs japonaises issues du bouddhisme et du shintō ».

²⁵⁹ Source : POUPEE Karyn, *Les Japonais*, Collection Texto, Editions Tallandier, 2012, 663 p.

²⁶⁰ Source : BENEDICT Ruth, *Le Chrysanthème et le sabre*, Editions Philippe Picquier, 19 mai 1998, 350 p.

²⁶¹ Source : NAKAGAWA Hisayasu, *Introduction à la culture japonaise*, Presses Universitaires de France, 15 janvier 2015, 96 p.

Il a fallu ensuite opérer un choix parmi les caractéristiques comportementales que l'on peut considérer comme plus typiquement japonaises. Le lecteur me pardonnera mon manque d'exhaustivité, car la recherche d'exhaustivité en la matière n'est pas le but que je poursuis.

Pourquoi le Japon désire-t-il et est-il le plus souvent innovant ?

- Par souci de la qualité. Le but n'est pas de supprimer des emplois, mais d'augmenter la qualité fonctionnelle des produits et services (ex : meilleure régulation des transports en commun, ...). Les japonais ne sacrifient pas les fonctionnalités et ne transigent ni sur la qualité ni sur la sécurité²⁶².
- L'innovation est perçue par les japonais comme un outil à leur service qui leur facilite la vie (les japonais aiment se sentir en sécurité et être « pris par la main ») et non comme une menace vis-à-vis des libertés individuelles. Il n'y a d'ailleurs pas d'équivalent à la CNIL française²⁶³ (Commission nationale informatique et liberté) cependant la loi japonaise de 2005 donne les mêmes garanties (consentement obligatoire de l'intéressé, communication sur la finalité des données). Mais les japonais acceptent plus facilement d'être répertoriés que les français. Il existe un label *privacy mark* utilisé par les grandes entreprises, il donne une garantie quant au respect de la loi, mais il va au-delà : il signifie que l'entreprise s'est dotée de techniques pour éviter la fuite de données personnelles et que tout vol doit être signalé aux clients. Cependant, à l'inverse de la France, les entreprises technologiques ne sont pas soupçonnées d'arrière-pensées nocives.
- De par leurs avancées en termes d'innovation dans certains secteurs clés (électronique, télécoms, nouveaux matériaux, nanotechnologies, biotechnologies, énergies renouvelables, robotique, automobile, optique, ...), les japonais espèrent résoudre les problèmes sociaux par la technologie (ainsi les robots devraient pouvoir s'occuper des personnes âgées). Cela semble utopique, mais ne le condamnons pas, car il faut tenir compte des différences culturelles, c.-à-d. de l'influence du contexte historique, géographique, économique et social dans lequel ces idées ont germé.
- L'innovation technologique a un rôle international à jouer, car elle permet de résoudre des problèmes communs à divers pays à supposer que la communauté internationale se

²⁶² Source : POUPEE Karyn, *Les Japonais*, Collection Textu, Editions Tallandier, 2012, p. 413.

²⁶³ Source : *Ibid.* p. 433.

concerte pour appliquer une solution identique. Ainsi l'ambassadeur du Japon en Belgique, S.E.M. HAYASHI Hajime souligne le fait que la Belgique et le Japon sont tous deux confrontés aux problèmes de société (vieillesse de la population), aux problèmes environnementaux (changement climatique) et aux problèmes sécuritaires²⁶⁴. Il estime que l'innovation technologique constitue une solution à ces problèmes, solution d'autant plus efficace qu'elle est soutenue par la coopération internationale.

5.2.1 Le fait d'assumer ses responsabilités ou la version moderne du code d'honneur

- L'importance de ne pas faillir à sa réputation (avec l'obligation en contrepartie de devoir « laver son honneur » si tel était le cas) et le rejet de l'échec font partie intégrante de la culture japonaise. Le déshonneur peut ainsi mener à la reconnaissance de son échec en présentant ses excuses (dans le cadre du *Giri*²⁶⁵). Mais dans tous les cas d'échec avéré, les hauts dirigeants d'une entreprise se doivent d'assumer leur part de responsabilité personnelle²⁶⁶. La mission « *Hitomi* » a échoué en 2016, des excuses publiques ont non seulement été présentées, mais le président de la JAXA de l'époque Naoki OKUMURA réduisit son salaire (pour finalement être licencié).

5.2.2 La solidarité : un pré-requis à l'innovation

- Les caractéristiques essentielles préalables à l'innovation au pays du Soleil levant sont les suivantes : ponctualité, solidarité, politesse, civisme, courage, abnégation et fidélité²⁶⁷. Pourquoi ces valeurs ? Elles constituent les conditions de vie *sine qua non* de l'harmonie sociale (on notera l'influence du confucianisme) dans un pays où la population est concentrée sur moins d'un cinquième du territoire, en proie à des désastres récurrents. Dans un tel contexte, sans le respect des autres, des biens publics,

²⁶⁴ S.E.M. HAYASHI Hajime, Ambassadeur du Japon, « Japand and Belgium : Different Nations with Common Challenges », 4/04/2019, disponible à l'adresse suivante: https://www.be.emb-japan.go.jp/itpr_en/news_190404.html?fbclid=IwAR1oL09A6IGpTAWIP18eg_LDZtGFVCNnUM3d5OuCTCgSdufbr_ACvNsk2_8Y (consultée le 9/04/2019) (dans le cadre du cours ULiège : « Dynamiques socioculturelles de l'Asie orientale » - Mr Andreas Thele (2018-2019) : <https://www.programmes.uliege.be/cocoon/cours/ASIE0023-1.html>).

²⁶⁵ Voir à ce sujet le chapitre 4.1 et surtout l'annexe 8 intitulée « La notion de dette morale selon la mentalité japonaise ».

²⁶⁶ Tandis qu'en Europe et aux USA on trouve un lampiste ou on licencie ceux qui ont échoué. Au Japon le leader assume ses responsabilités même si la faute incombe à ses subordonnés. Source : POUPEE Karyn, *Les Japonais*, Collection Texto, Editions Tallandier, 2012, p. 158.

²⁶⁷ Source : *Ibid.* p. 137.

des procédures ou des horaires, la vie en société deviendrait vite ingérable et insupportable²⁶⁸.

- Afin d'illustrer la notion de solidarité, je prendrai un exemple : que se passe-t-il en cas de tentative d'OPA (Offre publique d'achat) sur une société nipponne par une société étrangère ? La solidarité japonaise joue par une réaction tant privée que publique. Le gouvernement favorise ainsi les fusions par consentement mutuel (« mariages ») de sociétés japonaises entre elles pour les rendre plus solides face à une tentative d'OPA. Et cela, surtout si les entreprises produisent du matériel stratégique, qu'il faut protéger contre l'espionnage industriel (le domaine spatial en fait assurément partie). Bref, il s'agit de défendre les intérêts nationaux. Une entreprise japonaise refuse de « se marier » avec un revolver sur la tempe, elle exige une rectitude morale, un respect de leur nom, de leur patrimoine et de leur personnel. La mondialisation stimule a priori la concurrence et devrait être favorable au consommateur. Certes, mais selon la mentalité japonaise, il convient de défendre l'industrie nationale coûte que coûte²⁶⁹.
- La solidarité est aussi une cause d'innovation. En effet, c'est parce que le peuple japonais est solidaire dans l'adversité que la JAXA met au point des satellites d'observation de notre planète, afin de prévenir les catastrophes naturelles et de mieux les gérer si celles-ci sont inévitables.

²⁶⁸ Source : *Ibid.* p. 139.

²⁶⁹ Source : *Ibid.* p. 559.

6. Conclusions

6.1 L'importance de l'innovation technologique au Japon

- Les dépenses en recherche et développement forment un indicateur pouvant témoigner d'une volonté d'innovation. Si l'on compare le poids des dépenses en recherche et développement par rapport au Produit Intérieur Brut, le Japon se classe en 2016 en cinquième position au niveau mondial, bien devant la Chine en douzième position²⁷⁰.
- La technologie de pointe permet l'innovation. Le Japon ne s'est pas limité au secteur spatial pour démontrer sa capacité d'innovation :
 - La première personne à avoir inscrit la lettre « i » sur un tube cathodique est un japonais : Kenjiro TAKAYANAGI en 1926 ;
 - Le TGV (*Shinkansen* au Japon) fut créé 17 ans avant la France et un nouveau type de TGV à lévitation/sustentation électromagnétique (*Maglev*)²⁷¹ est prévu dans les années 2025-2030 ;
 - L'aéroport de Tokyo-Haneda comporte une quatrième piste ; laquelle est semi-flottante sur la mer!²⁷² ;
 - C'est Casio qui inventa en 1995 le 1er appareil photo numérique²⁷³ ;
 - En 2011, le Japon crée le super-ordinateur « K », il fut le n°1 mondial devant la Chine et les USA, ce qui renforça la notoriété de Fujitsu²⁷⁴ (laquelle conçoit actuellement des radars et des télescopes optiques dans le cadre du *Space Situation Awareness*, afin de pouvoir surveiller efficacement les débris spatiaux) ;
 - La méthode dite *Kaizen*²⁷⁵ de gestion de la qualité par l'amélioration continue, est japonaise. Cette méthode est fondée sur la minimisation des *Muda*²⁷⁶ (gaspillage) et la maximisation des *Shikumi*²⁷⁷ (mécanismes facilitateurs). Un bel exemple en est le Toyotisme²⁷⁸ (les 5 zéros : zéro stock, zéro délai, zéro défaut,

²⁷⁰ Cependant le Japon est devancé par la Corée du Sud (et ce, dès 2009). Pour plus de détails à ce sujet, voir l'annexe 11.

²⁷¹ Source : *Ibid.* p. 66.

²⁷² Source : *Ibid.* p. 281.

²⁷³ Source : *Ibid.* p. 330-331.

²⁷⁴ La Chine devint le n°1 mondial en 2016. Source : *Ibid.* p. 416.

²⁷⁵ *Kaizen* (改善、かいぜん) est une notion philosophique japonaise signifiant « amélioration continue » et très souvent utilisée dans le monde des affaires comme méthode de travail.

²⁷⁶ *Muda* (無駄、むだ) signifie « gaspillage ».

²⁷⁷ *Shikumi* (仕組み、しくみ) signifie « système, mécanisme facilitateur ».

²⁷⁸ Le toyotisme est un exemple qui illustre bien le fait que les entreprises privées ont exploré des technologies au-delà de leur activité industrielle d'origine. En effet Sokichi TOYODA produisait au départ des métiers à tisser avant de produire des voitures en 1933. Source : PELLETIER Philippe, *La fascination du Japon - idées reçues sur l'archipel japonais*, 3^{ème} édition, Le Cavalier Bleu, 23 août 2018, p 147.

zéro gâchis, zéro litige²⁷⁹). Cette quête d'amélioration permanente est liée à l'influence du bouddhisme²⁸⁰, la méthode *Kaizen* favorise surtout un comportement mettant en valeur la créativité donc l'innovation ;

- Les robots de production²⁸¹ (illustrant la mécatronique²⁸²) devinrent un nouveau domaine dominé par le Japon. Les robots peuvent aussi servir à débusquer de manière autonome les vivants sous les décombres après un séisme. Ainsi naquit le désir de miniaturisation, afin d'informer les populations à l'avance des risques de séismes (cela va des radios en 1979 aux smartphones d'aujourd'hui²⁸³). S'ajoute à cela un phénomène culturel, les japonais ont même inventé les animaux virtuels issus de la robotique (les *Tamagotchi*²⁸⁴) ;
- Le Japon compte sur sa culture et sa technologie pour renforcer sa diplomatie. Il est dépourvu de ressources naturelles et est peu puissant dans les instances internationales. Il est de moins en moins peuplé²⁸⁵.
- Les problèmes démographiques, énergétiques, alimentaires, la pénurie de main d'œuvre, les conflits territoriaux, le réchauffement climatique, le regain de nationalisme, les menaces terroristes demeurent. Le Japon trouve des solutions via la technologie (robots dans les maisons de repos, des voitures intelligentes pour éviter les accidents, ...) Mais est-ce la solution ?

²⁷⁹ Le toyotisme est peu appliqué par les ouvriers et employés occidentaux pour des raisons diverses et variées (individualisme, absence de solidarité, refus d'amélioration des processus, déresponsabilisation), il est intimement lié aux valeurs nipponnes. L'entraide entre ouvriers s'étend vers les fournisseurs. Ainsi Toyota a détaché 350 de ses ouvriers pour aider son fournisseur Riken à recréer ses outils de production après le séisme Nigita en 2007. Source : *Ibid.* p. 318 et 322.

²⁸⁰ Source : « Comprendre la culture du Japon pour réussir en affaires et négocier », ISD (International Strategic Development) Community, 11/03/2019, disponible à l'adresse suivante : <https://www.isd-community.com/mondialisation-et-ntic/dossier-japon/> (consultée le 15 mars 2019).

²⁸¹ Les fabricants de machines-outils muèrent leurs engins mécaniques en automates industriels puis en systèmes intégrés à commandes numériques (robots). Source : POUPEE Karyn, *Les Japonais*, Collection Texto, Editions Tallandier, 2012, p. 94.

²⁸² Discipline alliant la mécanique, l'électronique et l'informatique pour concevoir des systèmes de production industrielle.

²⁸³ Source : *Ibid.* p. 194.

²⁸⁴ *Tamagotchi* est utilisé par les anglophones, mais le mot correct est *tamagocchi* (拓麻歌子、たまごっち) signifie « animal virtuel ». Ce genre de mini-robot a été créé au Japon en novembre 1996. *Tamagocchi* est bien le terme correct puisque le 18 juillet 2006 le gouvernement japonais a officiellement déclaré que le mot *matcha* n'est basé sur aucun système officiel de romanisation. Source : « Matcha or Maccha ? », Jagasilk, disponible à l'adresse suivante : <http://jagasilk.com/maccha-or-matcha/> (consultée le 19 mars 2019).

²⁸⁵ Si le taux de fécondité actuel ne change pas, les plus de 75 ans représenteront 20% de la population en 2050. De plus l'Institut pour la population et la sécurité sociale au Japon évaluait déjà en 2008 la population du pays, tomber à zéro en l'an 3000. La carence en termes de natalité pose le problème du coût de la prise en charge des personnes âgées et des retraites. Sources : MESMER Philippe, « La population du Japon poursuit son inquiétant déclin », *Le monde.fr*, 9/01/2018, disponible à l'adresse suivante : https://www.lemonde.fr/asia-pacifique/article/2018/01/09/la-population-du-japon-poursuit-son-inquietant-declin_5239130_3216.html (consultée le 1^{er} novembre 2018) / COURMONT Barthélémy, *Géopolitique du Japon: Une puissance inquiète*, Editions Argos, 5 juillet 2013, p. 78.

- L'innovation technologique peut se faire au détriment des relations personnelles, de la vigilance collective, de la réflexion individuelle. Il ne faut pas tout miser sur la technologie ! Cependant, il faut reconnaître que le Japon utilise au mieux ses moyens technologiques (en ce compris ses satellites d'observation de la Terre) dans le cadre de la prévention des catastrophes naturelles.
- A supposer que cela marche au Japon (robotisation, automation de la société), cela peut ne pas nécessairement marcher ailleurs suite aux différences culturelles.
- En outre, les technologies peuvent être dévoyées, mais ceci n'est pas l'apanage du Japon, c'est un problème universel.
- Il faut surtout retenir que le Japon dispose d'un savoir-faire unique susceptible de lui donner un statut international important pour contribuer à rendre la vie de l'homme meilleure sur Terre. Les activités spatiales concourent à fournir ce statut et améliorer la vie sur Terre, ne fut-ce que déjà par la prévention des catastrophes naturelles.

6.2 La raison d'être du programme spatial japonais

La présente section s'inspire de Aoki SETSUKO²⁸⁶ ; en effet ce journaliste résume selon moi assez bien, l'évolution des activités de la JAXA au fil du temps et les motivations poursuivies par l'agence spatiale nipponne.

Le Japon est devenu, en février 1970, le quatrième pays à réussir le lancement d'une fusée à propergol solide de fabrication 100 % nationale. Il s'est imposé au cours des années suivantes comme un leader dans le domaine de l'espace. Seul participant asiatique à la Station spatiale internationale (depuis 2008), premier pays à avoir brisé le monopole américano-russe pour les missions lunaires (via sa mission *Hiten* en 1990), il est aussi le premier pays ayant pu récupérer un échantillon d'astéroïde au-delà du champ gravitationnel de la Terre (mission *Hayabusa-1* en 2010).

²⁸⁶ Source : SETSUKO Aoki, « Le Japon adopte une nouvelle loi pour encourager l'expansion des activités spatiales », nippon.com, 12 juillet 2017, disponible à l'adresse suivante: <https://www.nippon.com/fr/currents/d00294/> (consultée le 4 juillet 2018)

Le programme martien japonais fut moins chanceux avec la sonde *Nozomi*²⁸⁷ lancée en 1998 qui ne put atteindre l'orbite de Mars suite à une défaillance électrique²⁸⁸. Le programme martien fut stoppé en 2003, et eut notamment²⁸⁹ pour conséquence la création de la JAXA sous la forme que nous connaissons aujourd'hui (en fusionnant trois organismes différents afin de réorganiser la gestion du domaine des activités spatiales dans le pays).

Pourtant, le Japon s'en est tenu jusqu'en 2008 à une politique d'interdiction de l'utilisation de l'espace pour la défense nationale, et c'est ce qui explique en partie son retard en matière d'activités spatiales. En effet, jusque-là les activités spatiales de la JAXA étaient presque exclusivement cantonnées à la recherche scientifique et au développement technologique.

Puis le Japon s'est rendu compte que l'espace lui offrait des opportunités en termes de ressources énergétiques, mais surtout accroissait sa propre sécurité -sans parler de la sécurité internationale de par sa volonté d'éliminer les débris spatiaux qui constituent un danger pour l'ensemble de la planète Terre-. Dès lors, en 2008, il adopte sa loi fondamentale sur l'espace qui lui autorisait l'utilisation de l'espace à des fins sécuritaires dans un cadre défensif (exemple : l'observation de bases militaires nord-coréennes ou de navires chinois) et pacifique. En 2012 le statut de la JAXA est dès lors modifié à cette fin.

Malgré le désir japonais d'autonomie technologique, les contraintes budgétaires sont telles que la collaboration entre agences spatiales est primordiale (missions spatiales conjointes avec la NASA et l'ESA, collaboration sur Terre avec la NASA dans le cadre du SSA, ...), de même que la nécessité de l'ouverture des activités spatiales au secteur privé (précisément afin de compresser les coûts). Ce qui fut fait par la loi japonaise du 16 novembre 2016 sur les activités spatiales, ainsi par exemple le lancement de satellites devint une activité pouvant désormais être également prise en charge par le secteur privé. La loi sur les activités spatiales a *in fine* pour but de donner un coup de fouet au secteur spatial au Japon, pays qui possède à la fois la compétence technologique et un potentiel commercial (de petites sociétés pourraient ainsi lancer des satellites miniatures).

²⁸⁷ *Nozomi* (探査機、のぞみ) signifie « souhait » ou « espoir ».

²⁸⁸ Voir les annexes 1 et 2.

²⁸⁹ Outre l'échec de *Nozomi*, il faut aussi tenir compte des échecs répétés concernant le tir de lanceurs de type « H-II » pour comprendre la volonté de réorganiser la gestion du secteur spatial et de créer la JAXA (voir les annexes 1 et 2).

Monsieur Guillaume BRIONNET cite Madame SOURBÈS-BERGER²⁹⁰ (géographe et spécialiste du secteur spatial chinois) lorsque celle-ci énonce que « l'ADN classique du spatial, souveraineté et pouvoir d'influence (*soft power*), ne colle pas très bien avec celui du Japon ». En effet le Japon veut surtout ne pas être spatialement dépendant des États-Unis, il désire plutôt mener sa propre voie innovante tout en collaborant à l'échelon international.

Le Japon recherche au travers de son programme spatial l'indépendance technologique, l'accès sûr à l'espace à des fins sécuritaires pacifiques (la protection nationale, notamment celle des accès à ses approvisionnements énergétiques via la surveillance spatiale mais aussi la prévention à l'encontre des désastres naturels), la recherche scientifique (le plus souvent en collaboration avec d'autres agences spatiales) et l'exploitation de ressources énergétiques dans l'espace (les astéroïdes et le sol lunaire).

En outre, monsieur Seishiro KIBE, ex-conseiller scientifique principal à la JAXA (département Recherche et Relations Internationales) et ancien vice-président de la Fédération Aéronautique Internationale, souligne le fait que le Japon désire préserver son avance technologique dans le but de rester un leader mondial capable d'apporter une contribution de valeur au développement des activités spatiales à l'échelon international²⁹¹.

6.3 L'innovation technologique au sein de la JAXA (programme spatial et missions)

6.3.1 Le programme spatial japonais est-il innovant ?

6.3.1.1 L'innovation programmée

²⁹⁰ Madame SOURBÈS-VERGER est chercheuse au Centre Alexandre-Koyré (CNRS/École des hautes études en sciences sociales/Museum national d'histoire naturelle). Source : BRIONNET Guillaume, « Les puissances de l'espace - Alors que de nouveaux pays, comme la Chine, l'Inde ou la Suède, investissent dans l'espace et ses technologies, où en sommes-nous des rapports entre les puissances mondiales ? La géographe Isabelle Sourbès-Vergier fait le point sur la géopolitique spatiale actuelle », CNES, 1/08/2017, disponible à l'adresse suivante : <https://lejournale.cnr.fr/articles/les-puissances-de-lespace> (consultée le 17 juillet 2018).

²⁹¹ Le programme spatial japonais reste ambitieux puisque le pays veut rester un leader mondial au niveau technologique même si son programme spatial toutes proportions gardées n'est certes pas aussi ambitieux que le programme spatial de son voisin chinois, lequel dispose de moyens humains et financiers plus considérables. Source : Interview du Docteur Seishiro KIBE, ex-conseiller scientifique principal à la JAXA (département Recherche et Relations Internationales) et ancien vice-président de la Fédération Internationale Aéronautique (12/06/2019).

Je répondrai par l'affirmative à cette question, les exemples d'innovation prévue à l'origine des missions spatiales abondent dans différentes branches d'activité du secteur spatial :

- Le domaine du rayonnement X de par la mission *Hitomi* en 2016. Il s'agit d'un télescope capable de mesurer les mouvements dans les gaz, ceci permet d'étudier la physique des étoiles, des planètes et des trous noirs (*Hitomi* a d'ailleurs pu livrer des images de l'amas de galaxie de Persée en 2016). Il est bon de noter que le Japon était déjà avancé dans cette technologie à la fin des années 1980 en inventant le collimateur à modulation (utilisé en astronomie des rayons X).
- Le domaine de l'infra-rouge de par la mission SPICA prévue pour 2027. Il s'agit d'un télescope refroidi par cryogénie (une méthode innovante en soi) par la JAXA, permettant d'observer les corps célestes à travers des nuages de poussière et donc de retracer leur histoire, les clés de l'évolution de l'histoire cosmique seraient peut-être ainsi à notre portée.
- Le domaine de la gestion des débris spatiaux. La JAXA utilise des technologies innovantes dans le cadre de l'observation et du traitement des données liées au suivi de trajectoire des débris spatiaux. Ce suivi s'opère au moyen de radars et de télescopes en collaboration avec la NASA dans le cadre du SSA permettant d'améliorer la prédiction des mouvements des débris dans l'espace et l'efficacité des planning d'observation. Mais la JAXA va plus loin encore, puisqu'elle seule innova en tentant en 2017 de détruire un débris par l'expérience *KITE* en utilisant *Kōnotori*, le module de transport de l'ISS, afin de faire dévier un débris de son orbite (par la technique du câble électrodynamique) pour le pousser dans l'atmosphère terrestre. Le Japon innove encore sur le plan juridique en prenant le leadership d'un code de conduite international contraignant (*International Code of Conduct for Outer Space Activities*) visant à rendre l'espace sûr pour tous en prenant les mesures nécessaires afin de réduire au *maximum* la prolifération des débris spatiaux²⁹².
- Le domaine de l'exploration spatiale par des sondes planétaires. Il s'agissait ici de la sonde *Akatsuki* à faire orbiter autour de la planète Vénus (puisque l'étude de

²⁹² Le Japon avait dès 2001 dans le cadre de l'IADC (*Inter-Agency Space Debris Committee*) été à la base de la création des *Space Debris Mitigation Guidelines*. Ce code de conduite fut approuvé à l'ONU en 2007 mais il n'est toujours pas contraignant. Il a été révisé par la norme ISO 24.113:2011 toujours non contraignante entre agences spatiales (par contre la JAXA l'impose à ses fournisseurs dans le cadre de la construction d'engins spatiaux afin de limiter la production de débris spatiaux en cas de destruction dans l'espace). Voir à ce sujet le chapitre 4.4.2.

l'atmosphère de Vénus permet de comprendre comment la vie est apparue sur Terre) et d'étudier le système de la propulsion photonique via la voile solaire *Ikaros*. La sonde *Akatsuki* (emportant avec elle la voile solaire) lancée en 2010 ne réussit pas à orbiter autour de Vénus puis y parvint fin 2015 après cinq années de silence. Cependant la mission réussit surtout à démontrer la faisabilité du concept de propulsion en utilisant la pression de la radiation du soleil en déployant la voile solaire *Ikaros*. Ce fut la démonstration de l'utilisation réussie d'une technologie innovante.

- Le domaine de l'étude des comètes et des astéroïdes par les missions *Hayabusa*, ainsi que l'étude de la propulsion ionique par le micro-satellite *Tsubame*. En 2010, la sonde *Hayabusa-1* parvient à ramener un échantillon de l'astéroïde *Itokawa* (du nom du fondateur du programme spatial nippon), même si elle ne le fit que 7 années après son lancement²⁹³. Ce fut une première dans plusieurs domaines : l'atterrissage sur un corps céleste et la récupération d'un échantillon provenant de ce dernier. La propulsion ionique (nécessitant une faible poussée et peu de carburant) fut utilisée. La sonde *Hayabusa-2* doit faire de même avec l'astéroïde *Ryūgū*²⁹⁴, la collecte des échantillons était prévue pour fin 2018 et le retour sur terre en 2020. La JAXA innove encore en testant à nouveau la propulsion ionique, car cette fois à très basse altitude. Le micro-satellite *Tsubame* fut lancé fin 2017, les premiers résultats fournis en août 2019 ont été prometteurs au vu de la qualité des photographies fournies.
- Le domaine de l'utilisation de l'énergie solaire. Par le projet *Space Solar Power System*, la JAXA désire utiliser un satellite géostationnaire capable de capter les rayonnements solaires et de les rediriger sur Terre afin de les transformer en électricité. La JAXA est l'agence la plus avancée technologiquement prévoyant une station solaire opérationnelle en 2030 (précédée d'un prototype à taille réduite, prévu pour 2020).

6.3.1.2 L'innovation non programmée

La JAXA a également démontré sa capacité d'innovation, alors que celle-ci n'était pas prévue à l'origine.

²⁹³ En matière d'étude des comètes la NASDA avait déjà fait preuve d'innovation de par le passé. La sonde *Suisei* avait déjà pu en 1986 s'approcher suffisamment près de la comète de Halley pour prendre des images de son noyau avec sa caméra.

²⁹⁴ Les scientifiques japonais, français et allemands pensent que l'on pourrait trouver sur l'astéroïde *Ryugu* des matériaux très anciens témoignant de la formation du système solaire (des composants des planètes, voire du Soleil lui-même).

Le Japon est le troisième pays à avoir envoyé une sonde vers la Lune et brisa de ce fait en 1991 le monopole américano-russe. Mais ce succès n'alla pas de soi, il eut lieu grâce à une démarche innovante. *Hiten* devait déployer le satellite *Hagoromo* en orbite lunaire, mais *Hiten* restait bloqué en orbite terrestre elliptique haute. La JAXA testa dans l'espace une théorie allemande datant de 1925 (la méthode dite « de transfert à basse énergie ») permettant à *Hiten* de changer d'orbite et d'arriver en orbite autour de la Lune. La mise en pratique avec succès par la JAXA d'une théorie jamais testée est une démarche innovante en soi. Soulignons que la JAXA est la seule agence spatiale à avoir mis en œuvre cette théorie.

6.3.2 Le programme spatial japonais est-il innovant dans tous les secteurs ?

Le programme spatial japonais ne peut être innovant dans toutes les branches du secteur spatial ne fut-ce que pour des raisons d'ordre budgétaire. De plus la JAXA a dû faire des choix en lien avec sa stratégie spatiale (par exemple la JAXA n'a pas de stratégie concernant une éventuelle autonomie dans le vol habité à court terme, elle « se limite » à sa participation au sein de l'ISS).

6.3.3 Les effets pervers de l'innovation

Au cours de la mission *Hitomi* en 2016, le focus mis sur les capacités du spectrographe s'est fait au détriment de la stabilisation²⁹⁵ du satellite dans l'espace menant ce dernier à sa perte, et donc à l'échec de la mission (malgré son cliché de l'amas de Persée démontrant le succès de la technologie embarquée à bord du télescope). Le souci d'extrême spécialisation ne devrait pas faire perdre de vue l'ensemble des aspects nécessaires au succès d'une mission spatiale.

La JAXA a présenté ses excuses à la communauté scientifique internationale. Aucune autre agence spatiale n'a jamais adopté un tel comportement, mais ceci est lié à la culture japonaise et plus précisément à l'obligation de « laver son honneur » dès lors que l'on est

²⁹⁵ Il était impossible d'envoyer tel quel le satellite dans l'espace. On a dû le déployer à l'aide d'un grand mât. Or lors du déploiement du satellite avec le mât il y a un changement du moment d'inertie (à titre comparatif on patine moins vite les deux bras ouverts que les bras allongés au corps), il faut tenir compte de ce moment d'inertie dans les calculs mathématiques afin de s'assurer de la stabilité du satellite dans l'espace. Suite aux erreurs de calculs, le satellite s'est mis en rotation, le mât et les panneaux solaires furent détruits. Une seule collecte de spectre a pu être prise avec ce nouveau télescope, même si la collecte d'un spectre inédit de l'amas de galaxies de Persée fut une réussite, la mission fut considérée comme un échec (voir le chapitre 4.1).

incapable de remplir son « devoir moral ». En effet, tout japonais aspire à l'excellence, afin de pouvoir gérer un système d'obligations réciproques extrêmement élaboré et ainsi vivre dans l'honneur en évitant la honte. Chaque japonais doit être responsable des conséquences de ses actes, c.à-d. des conséquences de sa propre faiblesse, de son manque de persévérance et de son inefficacité. La responsabilité personnelle est ainsi prise dans un sens nettement plus énergique au Japon qu'en Occident, cette philosophie définit l'âme japonaise. Mais la JAXA ne compte pas rester sur un échec, un nouveau télescope dans le cadre d'une nouvelle mission XRISM (*X-Ray Imaging and Spectroscopy Mission*) devrait faire l'objet d'un lancement en 2021 afin de « laver la honte » d'avoir échoué en 2016.

6.3.4 Le mot de la fin

Les japonais ont une personnalité duale pour des raisons culturelles liées à leur éducation²⁹⁶. Ce dualisme s'exprime par exemple par le fait que même si les japonais sont très conservateurs, ils sont aussi attirés par la nouveauté et peuvent être extrêmement innovants. Ils l'ont prouvé dans de nombreux domaines dont le secteur spatial.

Monsieur Hideo ITOKAWA, père du programme spatial japonais peut légitimement être fier de ses successeurs, car même si l'innovation ne peut qu'être limitée à certains aspects du programme spatial japonais, l'innovation technologique a conféré au Japon un leadership incontestable dans certains domaines choisis. C'est le cas par exemple, de l'étude du rayonnement X et de l'infra-rouge. Cette innovation lui permet d'atteindre les objectifs de sa stratégie spatiale (au niveau scientifique, sécuritaire et économique, ainsi que son autonomie technique).

Le Japon a déjà ou aura bientôt les moyens technologiques permettant d'œuvrer à une vie meilleure sur Terre (prévention des catastrophes naturelles, détection et élimination des débris spatiaux, ...). Il mérite, dès lors, le support et les encouragements de la communauté internationale pour autant qu'il utilise son innovation technologique et ses compétences à des fins vertueuses et pacifiques, comme il se plaît tant à le souligner dans les textes fondateurs de la JAXA et dans le code de conduite spatial international qu'il cherche à promouvoir.

²⁹⁶ Ainsi par exemple un japonais se doit de renoncer à ses exigences personnelles au profit de la prévisibilité du collectif, ce qui peut aussi générer son lot de frustrations.

Annexes

Annexe 1 : Aperçu du programme spatial japonais

D'après AMMAR-ISRAËL Arlène et FELLOUS Jean-Louis, *L'exploration spatiale - au carrefour entre la science et la politique*, CNRS éditions 2011, 329 p.

La vision 2025 de la JAXA est de faire du Japon la première nation scientifique mondiale grâce à l'observation de l'espace et l'exploration des astéroïdes ainsi qu'à l'établissement de technologies destinées à l'utilisation de la Lune.



Les années 70-90

- Dès 1975 : envoi de satellites de télécoms et d'observation de la Terre (missions *Midori*²⁹⁷).
- 1986 : envoi de sondes (*Sakigake*²⁹⁸ et *Suisei*²⁹⁹) vers la Comète de Halley.
- 1990 : envoi d'un satellite autour de la Lune (mission *Hiten-Muses-A*).

L'échec de la sonde martienne *Nozomi* et les échecs répétés dans le tir de lanceurs de type « H-II » donnent lieu à la réorganisation de 2003 (création de la JAXA).

De 2003 à nos jours et au-delà

- Création de la JAXA en 2003 fusionnant le NAL (*National Aerospace Laboratory* créé en 1955), l'ISAS (*Institute of Space and Astronautical Science* créé en 1964) et la NASDA (*National Space Development Agency* créée en 1969).
- 2003 : envoi de la sonde *Hayabusa-1* vers l'astéroïde *Itokawa*³⁰⁰ (sonde rentrée sur terre en 2010 avec des poussières d'astéroïdes). Une mission *Hayabusa-2* fut lancée en 2014 vers l'astéroïde « 1993 JU3 », le retour sur Terre est prévu fin 2020.
- 2005 : Mission astronomique en rayons X « Astro-E ».
- 2006 : Mission solaire « Solar-B » et mission astronomique infrarouge « Astro-F ».
- 2007 : Mission Lunaire *Selene*³⁰¹. Une mission *Selene 2* fut aussi envisagée en 2015.
- 2008 : Publication de la loi fondamentale japonaise de l'espace.
- 2008-2009 : Assemblage du module scientifique « JEM » (aussi dénommé *Kibō*) pour l'ISS.
- 2009 : Adoption d'un plan spatial à 5 ans afin de répondre aux besoins de la société japonaise, de développer la commercialisation et la sécurité nationale.

²⁹⁷ *Midori* (緑、みどり) signifie « vert ».

²⁹⁸ *Sakigake* (先駆、さきがけ) signifie « pionnier, précurseur ».

²⁹⁹ *Suisei* (彗星、すいせい) signifie « comète ». *Suisei* est la sonde jumelle de *Sakigake*.

³⁰⁰ Via propulsion électrique. L'astéroïde porte le nom du père du programme spatial japonais.

³⁰¹ « Kaguya (Selene) - Kaguya Lunar Impact », JAXA, 10 juin 2009, disponible à l'adresse suivante :

http://www.kaguya.jaxa.jp/en/communication/KAGUYA_Lunar_Impact_e.htm (consultée le 15 novembre 2014).

« Selene » est l'acronyme de « SELenological and ENgineering Explorer ».

- 2009 : Création du Conseil sur l'exploration de la Lune dépendant du ministère de l'espace.
- 2009-2015 : Envoi du véhicule de transfert « HTV » destiné à approvisionner l'ISS.
- 2010 : Mission d'exploration Vénusienne *Ikatsuki* (mais échec lors de la mise en orbite, cependant elle y parvint en 2015) utilisant la technologie du « voile solaire »³⁰² *Ikaros*.
- 2012 : Mission de radioastronomie « Radio-G ».
- 2015 : Mission astronomique liée aux rayons X « Astro-H » ou *Hitomi*. Malheureusement la JAXA en perdit le contrôle en 2016 suite à une erreur de programmation dans le logiciel de contrôle de son altitude causant son instabilité dans l'espace.
- 2015 : Mission lunaire expérimentale *Slim*.
- 2015-2020 : Poursuite du projet d'autonomie spatiale dans le cadre des vols habités (modification d'un HTV afin de créer une capsule récupérable).
- 2018 : Mission vers Mercure *Bepi-Colombo* de l'ESA en coopération avec la JAXA (arrivée de la sonde prévue en 2020).
- 2020 : Mission lunaire robotisée dans le but de ramener des échantillons.
- > 2020 : Mission lunaire robotisée et humaine dans le but de ramener des échantillons.
- 2027 : Mission astronomique infrarouge SPICA.
- 2030 : Etablissement d'une base lunaire internationale dans le cadre d'une coopération internationale mais avec présence humaine japonaise.

³⁰² C'est le principe de la propulsion photonique (technologie au stade expérimental): on utilise la pression de la radiation solaire comme énergie motrice. Cette technologie implique l'utilisation de grandes surfaces et une charge utile ultra légère (200 Kg). Les autres moyens de propulsion principaux sont les suivants: chimique, électrique, nucléaire-électrique (rejeté pour des raisons écologiques) et l'utilisation gravitationnelle des planètes. Voir pour plus de détails le site de vulgarisation « Spaceconquest ». Voir DE AMORIN Jimmy, BLERON Alexandre et FOURET Julien, « Les moyens de propulsion dans l'espace », 2007, disponible à l'adresse suivante : <http://spaceconquest.pagesperso-orange.fr/Propulsion.htm> (consultée le 15 novembre 2014) / AMMAR-ISRAËL Arlène et FELLOUS Jean-Louis, *L'exploration spatiale - au carrefour entre la science et la politique*, CNRS éd. 2011, p. 98.

Annexe 2 : Historique du programme spatial japonais

Je souligne dans cette annexe dédiée à l'histoire du programme spatial japonais, au travers du développement de ses lanceurs et de ses missions spatiales, les secteurs d'activité dans lesquels la JAXA (ou ses précédentes) a été particulièrement innovante : le rayonnement X, l'infrarouge, les missions vers les astéroïdes ainsi que les missions vers les comètes.

Le père du programme spatial nippon

Le professeur d'université et ingénieur en aéronautique Hideo ITOKAWA (né le 20 juillet 1912, décédé le 21 février 1999) est le père du programme spatial japonais. Il créa des petites fusées dès le traité de paix signé entre les États-Unis et le Japon en 1953 (Traité de San Francisco) autorisant ce genre d'activités (les restrictions issues de la défaite de 1945 étant levées).

Les lanceurs

En matière de fuséologie, le pays est devenu autonome au fil du temps. Le Japon est devenu en février 1970 le quatrième pays à réussir le lancement d'une fusée à propergol solide de fabrication 100 % nationale.

Alors que, dans tous les autres pays, les travaux de recherche portent sur la propulsion à ergols liquides, les ingénieurs japonais choisissent plutôt de développer des fusées utilisant une propulsion à propergol solide. Et ce, au grand dam des États-Unis, puisque les premières fusées japonaises furent des échecs, si bien qu'ils proposèrent leur aide au Japon en 1966. L'aide fut refusée car le pays désirait être autonome.

Les lanceurs à ergols solides

Il y eut plusieurs types de fusées, les Lambda, les Mu et les M-V.

- Les premières fusées-sondes Lambda4S furent développées entre 1954 et 1965. Une campagne de presse hostile fut déclenchée par le grand quotidien *Asahi Shinbun*³⁰³ contre Hideo ITOKAWA, suite à l'échec des lancements des Lambda4S en 1966 et 1967. Il donna sa démission et quitta à jamais la recherche spatiale. Après un quatrième échec en 1969, la cinquième tentative permit enfin le 11 février 1970 de lancer le premier satellite japonais (d'une masse de 38 kg) baptisé *Ōsumi*³⁰⁴ d'après la province du même nom, il revint dans l'atmosphère le 2 août 2003 provoquant sa destruction.
- Les fusées *Mu* furent étudiées à partir de 1966 mais furent exclusivement utilisées dès 1978 pour les vols suborbitaux (les Lambda n'étant plus utilisées). Les fusées *Mu*, de par la possibilité de satelliser des charges utiles de 100 kg, permirent les premières missions scientifiques dès 1971. Le 21 février 1979, une fusée de ce type place en orbite *Hakuchō*³⁰⁵ premier observatoire spatial à rayons X japonais. C'est important de le préciser, car le rayonnement X constitue un des secteurs où l'innovation japonaise est particulièrement remarquable, suite à l'intervention de Minoru ODA, scientifique japonais qui poussa la recherche spatiale de son pays dans ce secteur

³⁰³ *Asahi shinbun* (朝日新聞、あさひしんぶん) signifie « le journal "soleil du matin" ». C'est le deuxième plus grand journal du Japon en termes de tirage. *Shinbun* peut se prononcer *shimbun*.

³⁰⁴ *Ōsumi* (おおすみ) est le nom d'une province au sud du Japon.

³⁰⁵ *Hakuchō* (白鳥、はくちょう) signifie « cygne ».

au cours des années 1970-1980³⁰⁶ jusqu'à sa mort en 2001 faisant du Japon un leader dans ce domaine.

- Le lanceur M-V remplaça la fusée *Mu* en 1997. Il permit de lancer une charge de 1,8 tonne et fut utilisé dans le cadre du lancement de satellites scientifiques. La fusée fut retirée du service en 2006 mais sera considérée pendant longtemps comme l'une des fusées à étages multiples et à carburant solide les plus évoluées au monde.
 - Elle permit en 1998 de lancer la première sonde spatiale japonaise vers une autre planète : *Nozomi* devait être placée en orbite autour de Mars pour étudier son champ magnétique et son atmosphère, la mission fut un échec (suite à une vanne bloquée empêchant la propulsion adéquate de la fusée, une tempête solaire en 2002 met définitivement fin à la mission). Cet échec contribua de manière significative à la décision de créer la JAXA en fusionnant en 2003 le NAL (*National Aerospace Laboratory* créé en 1955), l'ISAS (*Institute of Space and Astronautical Science* créé en 1964) et la NASDA (*National Space Development Agency* créée en 1969).
 - La mission suivante le 9 mai 2003 voit le lancement par le même lanceur de la sonde *Hayabusa-1* vers l'astéroïde *Itokawa*, (baptisé ainsi en l'honneur du fondateur de l'aéronautique japonaise Hideo ITOKAWA, cette sonde fut chargée de se poser sur la surface de l'astéroïde afin de récupérer un échantillon de son sol et le ramener sur Terre. La mission fut une première dans de nombreux domaines³⁰⁷ et un succès (malgré son retour différé en 2010), elle permit même de devancer la NASA à l'époque dans le domaine de l'exploration spatiale. C'est important de le préciser, car les missions vers les astéroïdes constituent un des secteurs où l'innovation japonaise est particulièrement remarquable.
 - Ce même lanceur place en orbite en février 2006 *Akari*³⁰⁸ le premier télescope spatial infrarouge japonais. C'est à préciser, car l'infrarouge constitue un des secteurs où l'innovation japonaise est également particulièrement remarquable.
 - Le lancement en septembre 2006 de l'observatoire spatial *Hinode*³⁰⁹ fut le dernier tir avec cette fusée (en raison de son coût astronomique sans jeu de mot). Le programme baptisé *Advanced Solid Rocket* puis *Epsilon* remplaça le lanceur M-V en 2013. Le premier vol d'*Epsilon* (construit par la société IHI Aerospace) eût lieu le 14 septembre 2013, il plaça en orbite le petit télescope spatial japonais SPRINT-A. Seul l'avenir nous dira si l'objectif poursuivi de haute performance à faible coût pour ce lanceur sera atteint. Ceci dit, en termes de sécurité nationale ce lanceur est remarquable car sa séquence de lancement est réduite, elle peut être contrôlée par un ordinateur portable à tout moment, en tout point du globe et est annoncée comme pourvue d'un système de contrôle automatique et autonome exploitant l'intelligence artificielle³¹⁰.
 - Mais mi-2013, le gouvernement japonais décida de remplacer le H-IIA (à ergols liquides) -développé à la fin des années 1990 et chargé de mettre sur orbite des satellites scientifiques, militaires³¹¹, d'observation de la Terre ainsi que des sondes

³⁰⁶ Il créa un collimateur à modulation, capable de focaliser le rayonnement X avant la création des télescopes (voir le chapitre 4.1).

³⁰⁷ (1) Recours à des moteurs ioniques, (2) atterrissage sur un corps céleste à très faible gravité, (3) rentrée atmosphérique à grande vitesse d'une capsule spatiale et (4) récupération d'un échantillon de sol d'un autre corps céleste.

³⁰⁸ *Akari* (明かり、あかり) signifie « lumière ».

³⁰⁹ *Hinode* (日の出、ひので) signifie « aurore ».

³¹⁰ Source : PEKKANEN Saadia (professeure à l'Université de Washington), *Le Japon, une puissance spatiale sous-estimée* in « Géopolitique de l'espace », Diplomatie, les grands dossiers n° 34, Août-Septembre 2016, p. 73.

³¹¹ Sur les 30 vols (les vols d'essai inclus) réalisés par la fusée H-IIA entre 2001 et 2016, près d'un tiers ont été consacrés au lancement de satellites de collecte de données c.-à.-d. de satellites de reconnaissance. Source : PEKKANEN Saadia

spatiales- avec comme objectif de diviser par deux les coûts de lancement. Le développement de la nouvelle fusée -dénommée H-3- fut confié début 2014 à Mitsubishi Heavy Industries, ce nouveau lanceur lourd devrait être opérationnel au début des années 2020. Il s'agit bien d'un moteur-fusée à ergols liquides, mais le deuxième étage du lanceur léger *Epsilon* sera quand-même réutilisé en tant que système de propulsion d'appoint.

Les lanceurs à ergols liquides

Pour ce qui concerne les lanceurs à propulsion basée sur des ergols liquides, le Japon voulut être autonome (il était prévu d'avoir ce genre de lanceur à disposition du Japon en 1972), puis le gouvernement japonais changea d'avis suite à des considérations purement politiques³¹². Dans les années quatre-vingt, il changea à nouveau d'avis préférant l'autonomie.

- En 1981, le Japon utilise le lanceur N-II (une version plus élaborée de la fusée américaine Thor acquise sous licence), il peut placer 360 kg en orbite géostationnaire.
- Le Japon améliore la fusée N-II en créant la fusée H-I, laquelle fera son premier vol en 1986. Cette fusée peut placer 550 kg en orbite géostationnaire.
- Au milieu des années 1980, la NASDA décide de développer un nouveau lanceur en utilisant uniquement des technologies nationales mettant fin à la dépendance du Japon vis-à-vis de l'industrie spatiale américaine.
 - Ainsi naquit le H-II dont l'autorisation de conception fut donnée en 1986. Les constructeurs multiplièrent les systèmes de sécurité et firent les choix les plus coûteux pour que le nouveau lanceur japonais soit d'une fiabilité irréprochable, ceci entraîna des retards mais le premier vol en 1994 fut un succès. Mais la période 1994-1999 fut considérée comme la période noire des activités spatiales japonaises³¹³. Une commission mixte japonaise et étrangère tenta d'en analyser les causes. Le rapport mit en avant l'insuffisance du budget spatial, des lacunes en termes d'encadrement et l'incapacité de valoriser le savoir-faire de l'agence spatiale japonaise ;
 - En effet, en ce qui concerne le savoir-faire, le lanceur H-II était destiné au lancement de satellites commerciaux mais vu son coût, il n'avait pu trouver aucun débouché commercial. Ainsi le dogme du « tout national » fut abandonné au profit des technologies américaines, en outre des matériaux moins coûteux furent utilisés et le H-IIA fut pour la première fois lancé le 29 août 2001. Les deux premiers satellites militaires de renseignement furent lancés par une fusée H-IIA le 28 mars 2003. Le lanceur lourd H-IIA est capable de placer en orbite basse de 10 à 15 tonnes et en orbite de transfert

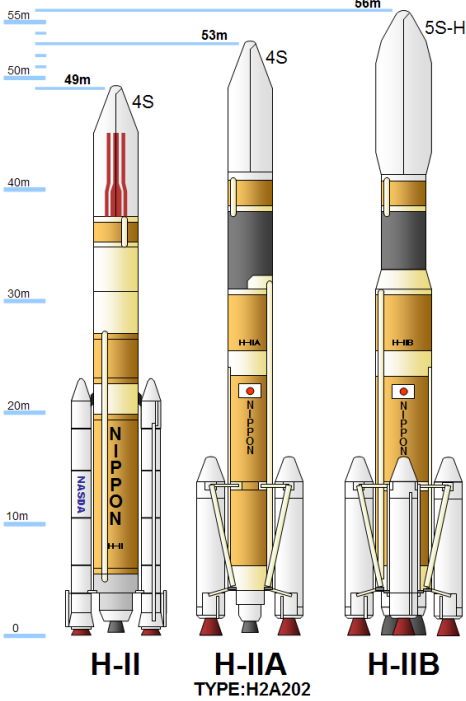

(professeure à l'Université de Washington), *Le Japon, une puissance spatiale sous-estimée* in « Géopolitique de l'espace », *Diplomatie, les grands dossiers* n° 34, Août-Septembre 2016, p. 73.

³¹² Lyndon Johnson proposa en octobre 1967 d'échanger la restitution en 1972 des îles Okinawa et de l'archipel d'Ogasawara (administrées depuis 1945 par l'armée américaine) contre l'achat par les japonais d'une licence de fabrication de la fusée américaine Thor. Cet accord fut ratifié à l'automne 1970 causant l'abandon du développement de lanceurs au profit de la construction sous licence de la fusée américaine. La société Mitsubishi construisit la fusée, laquelle fut baptisée N-I (la licence fut acquise pour un prix d'environ 6 milliards de Yens).

³¹³ (1) Le deuxième vol de la H-II en août 1994, emporte le satellite Kiku-6 mais le moteur d'apogée refuse de fonctionner, (2) en février 1996, la NASDA perd la mini navette spatiale HYFLEX, elle coule et est irrécupérable, (3) Le satellite d'observation de la Terre ADEOS I lancé en août 1996 est perdu moins d'un an plus tard à la suite d'un incident causé par une erreur de conception de ses panneaux solaires, (4) Lors du 5^{ème} lancement de la H-II, le deuxième étage de la fusée ne fonctionne pas aussi longtemps que prévu et le satellite COMETS destiné à tester de nouvelles technologies de télécommunications spatiales est placé sur une orbite inutilisable. Le coût cumulé de ces échecs s'éleva à l'époque à 1,8 milliard €. Le 15 novembre 1999 c.-à-d. après la publication du rapport de la commission internationale, le septième vol du lanceur H-II fut victime d'une défaillance dut être détruit en vol.

géostationnaire de 4,1 à 6,1 tonnes. Les tentatives de commercialisation n'ont jusqu'à présent pas abouti, car le lanceur est encore trop cher, conséquence d'un rythme de lancement assez bas (en moyenne 2 lancements par an) ;

- Une version plus puissante H-IIB est utilisée exclusivement environ une fois par an pour lancer le vaisseau cargo HTV chargé de ravitailler la station spatiale internationale.

 <p>Lanceurs lourds de type H-II (à ergols liquides)</p> <p>Source : « Lanceurs H-II », Wikipedia, disponible à l'adresse suivante : https://fr.wikipedia.org/wiki/Programme_spatial_japonais (consultée le 5 juillet 2018)</p>	 <p>Cargo HTV (<i>H-II Transfer Vehicle</i>)</p> <p>Source : « Cargo HTV », Wikipedia, disponible à l'adresse suivante : https://fr.wikipedia.org/wiki/Programme_spatial_japonais (consultée le 5 juillet 2018)</p>
--	---

Les bases spatiales

Il existe deux bases spatiales disposant de sites de lancement: celle d'Uchinōra comprenant un pas de tir et celle de Tanegashima comprenant deux pas de tir (Yoshinobu et Osaki). Les deux bases sont distantes l'une l'autre d'une centaine de kilomètres.

- Les premières fusées-sondes³¹⁴ partant de la place de Michikawa (préfecture d'Akita) étaient susceptibles de s'écraser en Chine en cas de défaillance, dès lors un changement de lieu s'imposait. Ainsi le site d'Uchinōra (*Uchinōra Space Center - USC*) dans la préfecture de Kagoshima (dans l'île de Kyūshū, la plus méridionale du Japon) fut finalement retenue en 1961.

³¹⁴ Une fusée-sonde est une fusée décrivant une trajectoire sub-orbitale permettant d'effectuer des mesures et des expériences dans la haute atmosphère. Elle est utilisée principalement pour étudier celle-ci *in situ*, faire des observations astronomiques dans des bandes d'ondes bloquées par l'atmosphère terrestre, effectuer des expériences de microgravité et enfin mettre au point des instruments spatiaux.

Afin de tenir compte des plaintes des pêcheurs locaux, les activités de lancement demeurent confinées à 90 jours par an. Le site de lancement était utilisé pour le lancement des fusées à propergol solide développée par l'ISAS chargée de mettre en orbite des satellites scientifiques et des sondes spatiales. Depuis que le dernier lanceur de cette famille (le M-V) a été retiré du service en 2006, plus aucun lancement de satellite n'est effectué à partir de cette base. Cependant celle-ci continue à être utilisée pour le lancement de fusées-sondes. Bien que les tirs de fusées-sondes aient lieu depuis la base de lancement principale d'Uchinōra, il n'est pas anodin de savoir que la JAXA effectue également des tirs depuis des stations situées près des pôles pour l'étude du champ magnétique terrestre : la base antarctique Shōwa³¹⁵ (Japon) et les bases de lancement situées à Andøya et dans l'archipel de Svalbarden en Norvège.



Source : « Centre spatial de Uchinōra », Wikipedia, disponible à l'adresse suivante : https://fr.wikipedia.org/wiki/Programme_spatial_japonais (consultée le 3 juillet 2018)

- Le centre de Tanegashima (*Tanegashima Space Center* - TNSC) est une autre base de lancement de la JAXA. Elle est située sur l'île de Tanegashima à 35 km au sud de l'île de Kyūshū, également dans la préfecture de Kagoshima. L'île, toute en longueur, se trouve à environ mi-route entre d'une part, le port de Kagoshima situé sur l'île de Kyūshū et d'autre part, l'île de Yakushima. Construit entre 1963 et 1969, c'est dit-on le centre de lancement le plus beau du monde. Le centre se compose de 2 complexes de tir, Yoshinobu (utilisé depuis 1991) et Osaki au Nord (utilisé depuis 1975). Ce centre est celui d'où sont lancés les lanceurs H-IIA et H-IIB (à ergols liquides). Le *Takesaki Range Control Center* - TCC sur le site d'Osaki constitue l'équivalent japonais de la tour de contrôle de Houston. Le musée du centre spatial est situé en bordure de mer juste après le centre de contrôle³¹⁶. Ouvert depuis 1979, il permet de voir des maquettes d'engins spatiaux et de lanceurs.

³¹⁵ *Shōwa* (昭和、しょうわ) correspond à la période de l'histoire du Japon « Showa » (+1926 à +1989), soit l'ère de l'empereur *Hirohito* (裕仁、ひろひと).

³¹⁶ Selon un site touristique, Il suffit de prendre le premier bus (tôt le matin) à partir de *Nishinōmote* et de sortir (deux heures plus tard) à l'arrêt *Takamatsu*. Le musée se situe juste en face et l'entrée est gratuite. Le dernier bus retour à ne surtout pas manquer est à 15h22. Source : « *Tanegashima* : Surfs Up », Once a traveler, 9 août 2009, disponible à l'adresse suivante : <http://www.onceatraveler.com/tanegashima-surfs-up> (consultée le 3 juillet 2018) / « *Tanegashima Space Center* », JAXA, disponible à l'adresse suivante : <http://global.jaxa.jp/about/centers/tnsc/index.html> (consultée le 3 juillet 2018)



Source : « Centre spatial de Tanegashima », Wikipedia, disponible à l'adresse suivante : https://fr.wikipedia.org/wiki/Programme_spatial_japonais (consultée le 3 juillet 2018)



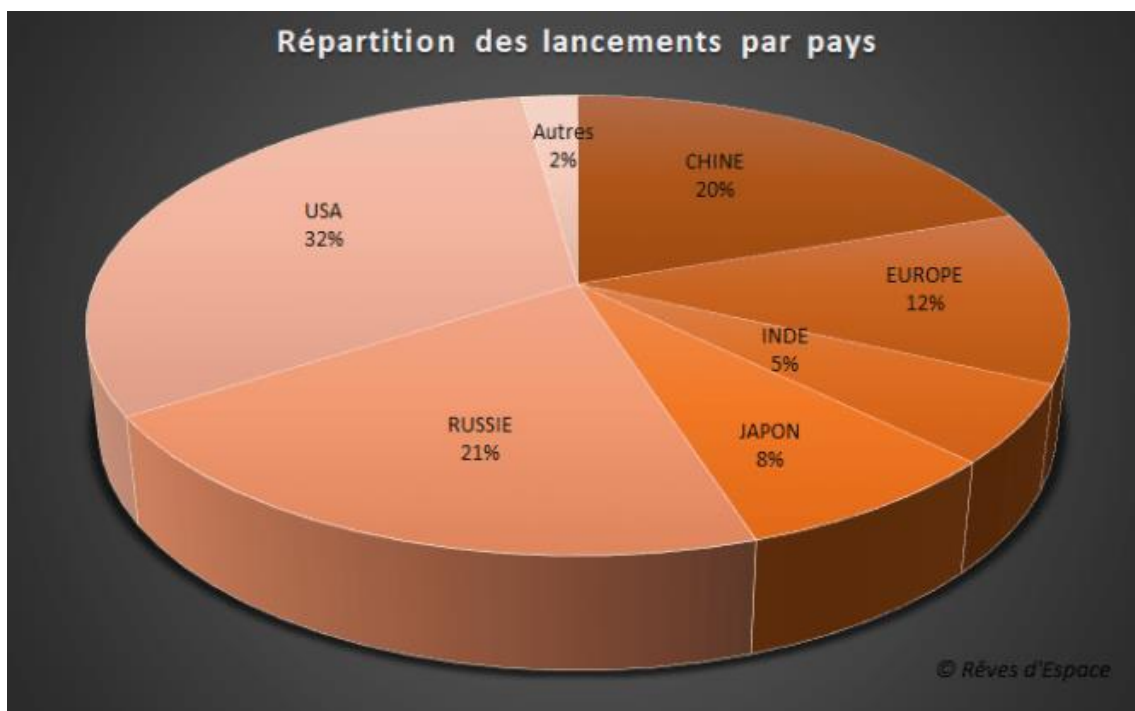
Source : « L'espace japonais », Capcom Espace, disponible à l'adresse suivante : <https://www.capcomespace.net/dossiers/japon/tanegashima.htm> (consultée le 3 juillet 2018)

2018). La plupart des sites spatiaux sont visitables. Source : « Field Centers », JAXA, disponible à l'adresse suivante : <http://global.jaxa.jp/about/centers/index.html> (consultée le 24 juillet 2018).

Il existe d'autres installations fixes :

- Le siège de la JAXA se trouve à Tokyo ;
- Il existe également un centre spatial dans la préfecture d'Ibaraki mais ce n'est pas un site de lancement. Le centre de Tsukuba³¹⁷ (*Tsukuba Space Center - TKSC*) fut créé en 1972. Il est un centre de recherche technologique, de test d'équipement spatial, et enfin d'entraînement des astronautes impliqués dans les activités de la station spatiale internationale. Il est situé à 50 km au nord-est de Tokyo ;
- Le campus de Sagami-hara dans la ville éponyme était le siège de l'ancienne agence ISAS responsable du programme spatial scientifique. Il est consacré aux aspects scientifiques du programme spatial, ainsi qu'à la mise au point de nouvelles technologies spatiales ;
- Le Centre d'Observation de la Terre Hatoyama, dans la préfecture de Saitama, met au point les technologies nécessaires aux satellites d'observation de la Terre et dispose de grandes antennes paraboliques pour recevoir les données des satellites ;
- Le Centre de test des fusées de Noshiro (à Noshiro) comporte plusieurs bancs d'essai où sont testés les moteurs-fusées à ergols liquides, ainsi que les propulseurs à propergol solide ;
- Enfin l'agence spatiale japonaise dispose de plusieurs stations équipées d'antennes paraboliques pour communiquer avec ses satellites et ses sondes spatiales. Une antenne parabolique de 64 mètres de diamètre se trouve à Usada dans la vallée de Nagano à 170 km au nord-ouest de Tokyo et est utilisée pour communiquer avec les sondes spatiales.

Concernant le nombre de lancements, le Japon représente 8% des tirs mondiaux en 2017.



Source : « Les lancements de part le monde », Rêve d'espace, disponible à l'adresse suivante : <https://reves-d-espace.com/calendrier-des-lancements-a-travers-le-monde/les-lancements-de-part-le-monde-2017-et/> (consultée le 3 juillet 2018)

³¹⁷ « Tsukuba Space Center », JAXA, disponible à l'adresse suivante : <http://global.jaxa.jp/about/centers/tksc/index.html> (consultée le 3 juillet 2018).

Le programme satellitaire

Les satellites d'application

Les satellites d'application recouvrent les satellites de météorologie (exemple : *Hiwari-9*³¹⁸ lancé en 2016), les satellites de télécommunication, et les satellites de navigation [exemple : QZSS³¹⁹ 1 (*Michibiki*³²⁰) lancé en 2010]. D'ailleurs, le Japon collabore avec les États-Unis et l'Europe à la mise en place d'un réseau de satellites géostationnaire dans le cadre de l'Organisation météorologique mondiale.

*Kiku-1*³²¹ lancé en 1975 et *Kiku-2* en 1977 furent les premiers satellites précurseurs des futurs satellites de télécommunication. *Kiku-2* permit au Japon de devenir le troisième pays à avoir placé un satellite d'application en orbite géostationnaire³²².

Pour acquérir les connaissances nécessaires à la mise en place d'un réseau de satellites de télécommunications, les sociétés japonaises furent incitées à collaborer avec les États-Unis pour le développement et le lancement des premiers satellites opérationnels. Le fait suivant est paradoxal : le Japon dominera plus tard l'industrie électronique, mais malgré tout continuera à acquérir ses satellites de télécommunication auprès des USA.

En 1981, le Japon place en orbite le satellite *Kiku-3* via le lanceur N-II. Ce lanceur sera par la suite utilisé pour lancer des satellites de télécommunications en orbite géostationnaire.

Les satellites scientifiques

L'ISAS (définitivement détachée de l'université de Tokyo depuis 1971) parvient à développer au cours des décennies 1970 à 1990 un riche programme scientifique dont plusieurs missions d'exploration du système solaire.

L'ISAS utilisa pour lancer ses satellites et sondes spatiales son petit lanceur *Mu* à propergol solide.

- Elle l'améliore en créant le Mu-3S, pouvant placer 300 kg en orbite basse. Cela permit de lancer en 1981 *Hinotori*³²³ (ASTRO-A) un observatoire à rayons X.
- Elle l'améliore encore en créant le Mu-3SII permettant de doubler la charge utile à 700 kg.
 - Cela va permettre au Japon de lancer des sondes près de la comète de Halley. La fusée lance en 1985 deux sondes spatiales à la rencontre de Halley : *Sakigake* (ou MS-T5),

³¹⁸ *Hiwari-9* (日割、りひわり) signifie « 9 fois par jour ».

³¹⁹ Le système GPS japonais est baptisé QZSS (Quasi-Zenith Satellite System) Le système QZSS repose sur l'utilisation du signal émis par trois satellites qui se relaient à la verticale du Japon. D'autres satellites de la série QZS furent lancés en 2017 et 2018).

³²⁰ *Michibiki* (導き、みちびき) signifie « orientation ».

³²¹ *Kiku* (菊、きく) signifie « chrysanthème ».

³²² L'orbite géostationnaire, abrégée GEO (*geostationary orbit*) est une orbite située à 35.784 km d'altitude au-dessus de l'équateur de la Terre, dans le plan équatorial et d'une excentricité orbitale nulle. Elle s'oppose à l'orbite basse (altitude inférieure à 1.000 km) principalement occupée par les satellites d'observation de la terre et les stations spatiales. Un satellite en orbite géostationnaire fait le tour de la Terre en 24 heures. Vu depuis le sol, il occupe donc une position fixe dans le ciel.

³²³ *Hinotori*, (鳳凰、ひのとり) signifie « phoenix » (symbole de la vie et de l'immortalité d'après la mythologie chinoise). En Chine, le *Fenghuang* est un oiseau qui règne au-dessus de tous autres oiseaux.

première sonde spatiale du Japon, chargée d'effectuer des tâches de reconnaissance et surtout *Suisei* (ou PLANET A) chargée d'effleurer le noyau de la comète et de prendre des images avec sa caméra. La mission est un succès, puisque d'une part *Sakigake* (tout en étudiant le vent solaire dans sa course vers la comète) s'approche à moins de 7 km de la comète, et d'autre part *Suisei* le 8 mars 1986, parvient à prendre une image du noyau de la comète, de son nuage d'hydrogène et réussit même à déterminer sa vitesse de rotation. Cette mission est à souligner, car les missions vers les comètes constituent un des secteurs où l'innovation japonaise est particulièrement remarquable.

- Au cours des années suivantes, le lanceur *Mu-3S* fut mis à contribution pour lancer deux observatoires à rayons X de la série ASTRO-X - *Ginga*³²⁴ en 1987 et *Asuka*³²⁵ (ou ASCA) en 1993. Comme mentionné précédemment, l'étude du rayonnement X constitue un des secteurs où l'innovation japonaise est particulièrement remarquable.

Les satellites d'observation de la Terre

Vu sa situation géographique, le Japon veut utiliser des satellites dans le cadre de la gestion de la prévention des catastrophes naturelles.

Ainsi, le satellite ALOS2 lancé en 2014 se préoccupe de la gestion des catastrophes naturelles (ALOS3 est prévu pour 2019), le satellite GCOM-W (*Shizuku*³²⁶) lancé en 2012 étudie le changement climatique, GOSAT lancé en 2002 étudie la distribution du dioxyde de Carbone de la Terre.

La JAXA collabore avec l'ESA dans le cadre du satellite EarthCARE (prévu pour 2018) chargé de mesurer le bilan radiatif de la Terre.

Les vols habités et la station spatiale internationale

Le Japon n'a jamais envoyé d'astronaute dans l'espace par ses propres moyens, cela ne figure pas dans son programme. Cependant le Japon a participé à de nombreuses missions internationales.

La Navette spatiale américaine effectue son premier vol en 1981. Elle donne naissance à des programmes de coopération entre les États-Unis et les puissances spatiales tant européenne que japonaise. L'ESA développe un laboratoire spatial, *Spacelab*, transporté dans la soute de la navette qui permet de réaliser des expériences scientifiques dans l'espace. Pour ce faire, des spécialistes de mission sont nécessaires.

- La première expérience japonaise est emportée par une navette en décembre 1982, mais est mise en œuvre dans l'espace par des astronautes non japonais.
- Le Japon décide de financer une mission *Spacelab* emportant uniquement des expériences japonaises baptisée *Spacelab J* (comme Japon). Mais la navette spatiale est clouée au sol par l'accident de *Challenger* de 1986 et la mission *Spacelab J* est repoussée *sine die*. L'Union soviétique propose alors au Japon de réaliser ses expériences à bord de sa propre station spatiale (station *Mir*) mais le Japon préfère attendre que la mission originelle soit replanifiée. Mais en 1986, la plus grande station radio privée japonaise, TBS (*Tokyo Broadcasting System*),

³²⁴ *Ginga* (銀河、ぎんが) signifie « la Voie lactée » (galaxie).

³²⁵ *Asuka* (飛鳥時代、あすか) correspond à la période de l'histoire du Japon « Asuka » (+538 à +710). L'observatoire à rayons X *Asuka* (あすか) porte le même nom. Ce terme désigne également un prénom féminin.

³²⁶ *Shizuku* (滴、しずく) signifie « goutte ».

décide de célébrer avec éclat son 40^e anniversaire en payant 11,3 millions € un vol d'une semaine à bord de la station soviétique *Mir* à un de ses journalistes, chargé d'effectuer des émissions depuis l'espace (il n'est évidemment pas question d'une quelconque mission scientifique pour un journaliste). Toyohiro AKIYAMA, le rédacteur en chef de la rubrique internationale, est sélectionné puis agréé par les médecins soviétiques. Il devient ainsi le premier touriste spatial qui profite des problèmes financiers de l'Union soviétique en voie de décomposition. Lancé à bord de Soyouz TM-11 le 2 décembre 1990, il devient le 1^{er} astronaute japonais. Finalement, la mission *Spacelab J* est lancée par la NASA le 12 septembre 1992 avec à son bord l'astronaute japonais Mamoru MOHRI. Ironiquement, un touriste spatial japonais précéda l'arrivée d'un astronaute professionnel.

La JAXA est un participant important de la station spatiale internationale à hauteur de 12,8% au développement du sous-ensemble américain. Il participe aussi à l'appui logistique apporté à travers le lancement de missions de ravitaillement assurées par le vaisseau cargo HTV (*H-II Transfer Vehicle*³²⁷). Elle a fourni le laboratoire spatial JEM (*Japanese Exploration Module*) *Kibō*³²⁸, qui est le plus gros module pressurisé de la station spatiale. Sa participation lui donne le droit de disposer d'une place pour un astronaute japonais dans l'équipage permanent environ 6 mois par an. On le voit, la contribution japonaise au sein de la station spatiale internationale n'est pas négligeable.

Missions vers la Lune

Le Japon est le troisième pays à avoir envoyé une sonde autour de la Lune (mission *Hiten* en 1990).

La première sonde lunaire japonaise nommée *Hiten* (d'après un ange bouddhiste) fut lancée en 1990. Son but était de placer en orbite lunaire le satellite *Hagoromo*, afin de tester les technologies des futures missions lunaires³²⁹. Alors que *Hiten* était en orbite terrestre elliptique haute, il fallait trouver un moyen de déployer *Hagoromo* en orbite lunaire, mais ce dernier eut des problèmes de communication sévères, si bien que l'on était incapable de le localiser avec précision. Il fallut alors envoyer aussi *Hiten* en orbite lunaire, ce qui n'était pas prévu à l'origine. *Hiten* et *Hagoromo* atteignirent l'orbite lunaire le 2/10/1991 suite à une méthode innovante (la méthode de transfert « à basse énergie ») mais cela nécessita 3 mois au lieu de 3 jours. Ce fut la première fois qu'une méthode de transfert à basse énergie fut utilisée pour atteindre une orbite lunaire³³⁰. *Hiten* a utilisé les propriétés des points de Lagrange des systèmes Soleil-Terre et Terre-Lune pour effectuer un

³²⁷ Le HTV est aussi appelé *Kōnotori* (鶴、こうのとり) signifiant « cigogne orientale » ou « cigogne blanche ». *Kōnotori* ne sert qu'au transport d'équipement, pas d'êtres humains. Les astronautes japonais ne rejoignent pas l'ISS dans l'espace par la JAXA car cette dernière ne possède pas de programme spatial habité propre, elle doit faire appel à d'autres agences spatiales pour les lancements d'astronautes.

³²⁸ Le *Japanese experiment module* fut baptisé *Kibō* (希望、きぼう) signifiant « espoir ».

³²⁹ Source : « Hiten », NASA, disponible à l'adresse suivante : <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraftDisplay.do?id=1990-007A> (consultée le 16 juillet 2018).

³³⁰ Edward BELBRUNO et James MILLER, au sein du *Jet Propulsion Laboratory* de la NASA contactèrent la JAXA le 21 juin 1990 (alors que celle-ci n'avait rien demandé) et lui firent part de leur théorie, il lui donnèrent une proposition de trajectoire spécifique non traditionnelle pour *Hiten* afin de placer ce dernier (et donc *Hagoromo*) en orbite autour de la Lune. Cette proposition américaine de transfert à basse énergie fut sérieusement étudiée par la JAXA qui en fit sa propre adaptation et la mit en oeuvre, cela fut un succès. En fait David FOLTA de la branche « dynamique de vol » de la NASA (NASA's Goddard Space Flight Center) lors d'une conférence ultérieure retraçant la mission *Hiten* insista sur le fait que la technique n'était pas neuve mais son implémentation l'était. Source: Foust Jeff, « From chaos, a new order », *The Space Review*, 6/03/2006, disponible à l'adresse suivante : <http://www.thespacereview.com/article/569/1> (consultée le 17 juillet 2018).

transfert à basse énergie, c'est en cela qu'il s'agit d'une méthode innovante : la sonde fut d'abord envoyée autour du point de Lagrange L2 dans le système Soleil-Terre, puis la JAXA lui donna une correction de vitesse lui permettant d'atteindre l'orbite lunaire via un transit autour du point de Lagrange L2 dans le système Terre-Lune.

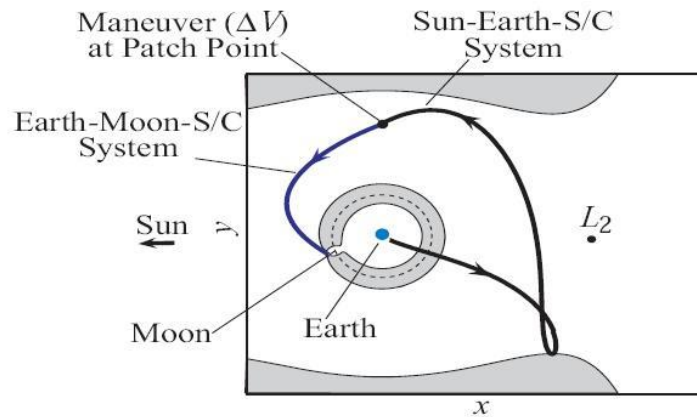


Schéma de la méthode de transfert à basse énergie dans le système Soleil-Terre : (1) *Hiten* est envoyé autour de L2 dans le système Soleil-Terre et rebondit vers la Terre, (2) la JAXA lui imprime une manœuvre de correction de vitesse au point V (ΔV), (3) il se dirige alors autour du point L2 dans le système Terre-Lune jusqu'à ce qu'il soit capturé par l'orbite lunaire.

Source : Cours intitulé « Exploration spatiale / Space exploration » - ULiège - Mr Grégor Rauw (2014-2015) : <https://www.programmes.uliege.be/cocoon/cours/SPAT0035-1.html>

Après avoir atteint une orbite lunaire permanente le 15 février 1993, une collision de *Hiten* sur la Lune a été *in fine* volontairement provoquée en avril 1993.

La mission lunaire SELENE (*SELenological and ENgineering Explorer* aussi dénommée *Kaguya*³³¹ *lunar orbiter*) fut lancée en septembre 2007. Le but de la mission était d'étudier la composition minéralogique de la Lune, sa géographie, la structure de sa surface, les restes de son champ magnétique et son champ de gravité³³². En août 2009, l'engin fut amené sur la Lune de manière contrôlée, mettant fin à sa mission.

Le projet très ancien de sonde lunaire *SELENE-2/SELENE-R*, prévu pour 2015, comprenant un atterrisseur, un rover et éventuellement un petit orbiteur ainsi que des pénétrateurs, a été abandonné.

L'agence spatiale japonaise développe un petit atterrisseur expérimental destiné à se poser sur la surface de la Lune. Le projet baptisé SLIM (*Smart Lander for Investigating Moon*) doit être lancé en 2021. Le petit atterrisseur d'environ 400 kg développé à cet effet doit être lancé par une fusée

³³¹ *Kaguya* (かぐや) signifie « la princesse lunaire » selon la mythologie japonaise.

³³² Sources : DAWSON Linda, *The politics and perils of space exploration - Who will compete, who will dominate ?*, Springer editions, 22 November 2016, p. 20. / « JAXA: Japan's Aerospace Exploration Agency », Space.com, Elizabeth Howell, 19 May 2016, disponible à l'adresse suivante : <https://www.space.com/22672-japan-aerospace-exploration-agency.html> (consultée le 12 juillet 2018).

Epsilon vers 2019. Le but de la mission est d'étudier des sites présentant un grand intérêt scientifique. Le coût de la mission est estimé à 115 millions €³³³.



Source : « About Smart Lander for Investigating Moon (SLIM) », JAXA, disponible à l'adresse suivante : <http://global.jaxa.jp/projects/sat/slim/> (consultée le 13 juillet 2018).

Il convient de ne pas oublier le tourisme spatial. En effet une mission privée autour de la Lune est organisée par Elon Musk, le patron de Space X. La mission est prévue aux alentours de 2023, mais le premier touriste spatial sera japonais³³⁴. Yusaku MAEZAWA³³⁵, un milliardaire japonais –un ancien rockeur ayant fait succès dans le monde de la mode au Japon- a réservé toutes les six places à bord de la fusée « Big Falcon Rocket », il a décidé d'inviter cinq artistes à la condition qu'ils créent une oeuvre à leur retour sur Terre.

³³³ Source : « Le Japon veut envoyer un robot sur la Lune », L'Express.fr, 27/04/2015, disponible à l'adresse suivante : https://www.lexpress.fr/actualite/sciences/le-japon-veut-envoyer-un-robot-sur-la-lune_1675066.html (consultée le 24 juillet 2018).

³³⁴ Si l'on ne tient pas compte de Toyohiro AKIYAMA, rédacteur en chef de la station radio de Tokyo (TBS) à bord de la station Mir en 1990. Il était certes un touriste privé mais Roscosmos était à l'époque -et est resté de nos jours- un organisme étatique à l'inverse de Space X.

³³⁵ Sources: FRITZ Jean-Paul, « Un milliardaire japonais choisi pour faire le tour de la Lune...avec des artistes », L'OBS, 18/09/2018, disponible à l'adresse suivante : <https://www.nouvelobs.com/sciences/20180918.OBS2488/un-milliardaire-japonais-choisi-pour-faire-le-tour-de-la-lune-avec-des-artistes.html> (consultée le 9 novembre 2018) / CHARLES Frédéric, « Le milliardaire japonais Yusaku Maezawa, premier touriste de l'espace », RFI, 18/09/2018, disponible à l'adresse suivante : <http://www.rfi.fr/asi-pacifique/20180918-japon-milliardaire-yusaku-maezawa-premier-touriste-espace> (consultée le 2 décembre 2018) / ROUSSEAU Yan, « Le premier touriste de l'espace choisi par Elon Musk sera un jeune milliardaire japonais », LesEchos.fr, 18/09/2018, disponible à l'adresse suivante : <https://www.lesechos.fr/industrie-services/air-defense/0302269969672-le-premier-touriste-de-lespace-choisi-par-elon-musk-sera-un-jeune-milliardaire-japonais-2206004.php> (consultée le 2 décembre 2018) / COURTOIS Hélène et TOGNINI Michel, *Explorateurs de l'espace - Voyage aux frontières de l'Univers*, éditions Dunod, Avril 2019, p. 65.

Missions vers Mars

Il s'agit d'une mission actuellement à l'étude. MMX (*Mars Moons Exploration*) est une mission de retour d'échantillons du sol de Phobos (satellite de la planète Mars) qui pourrait être lancée vers 2024 (retour d'échantillons sur Terre prévu vers 2029).

Autres missions d'exploration du système solaire

Fin 2016 l'agence spatiale japonaise disposait de deux sondes spatiales en activité :

- *Akatsuki* qui devait se placer en orbite autour de Vénus fin 2010 a été victime d'une défaillance de sa propulsion. Une nouvelle tentative d'insertion en orbite, grâce à l'utilisation de petits propulseurs d'altitude, a permis en décembre 2015, d'insérer la sonde spatiale sur une orbite plus élevée que prévue.
- *Hayabusa-2* (la suite de la mission *Hayabusa-1*), a été lancée en 2014. Comme son prédécesseur, la mission comprend l'étude d'un astéroïde (1999 JU3 ou *Ryūgū*) et le prélèvement d'un échantillon de sol qui devrait être retourné sur Terre en 2020.

Une sonde spatiale est en cours de développement tandis qu'une autre est à l'étude :

- (1) BepiColombo est un projet mené en collaboration avec l'Agence spatiale européenne qui comprend deux satellites solidaires au lancement prévu en 2018 qui doivent être placés en orbite autour de la planète Mercure en 2020. Le satellite japonais MMO (*Mercury Magnetospheric Orbiter*) a pour objectif principal l'étude de l'atmosphère et de la magnétosphère de la planète.
- (2) DESTINY+ doit étudier les caractéristiques des poussières cosmiques (interplanétaires, cométaires ou interstellaires) et les processus d'éjection de celles-ci par les astéroïdes. DESTINY+ est également un démonstrateur technologique qui doit valider des techniques avancées de propulsion. Elle doit survoler l'astéroïde aréocroiseur Phaéton (3200). La mission devrait durer plus de 4 ans.

La recherche technologique

- La voile solaire *Ikaros* (*Interplanetary Kite-craft Accelerated by Radiation of the Sun*) a été développée par la JAXA, il s'agit de pouvoir déployer la voile, afin d'utiliser la pression de la radiation du soleil pour accélérer dans l'espace³³⁶, le but de la mission était de vérifier si un engin spatial pouvait se déplacer en étant mu exclusivement par ce système de propulsion³³⁷. Cette technologie ne permet de déplacer que de faibles charges utiles (200 kg). Le 20 mai 2010 un lanceur H-IIA fut chargé de placer en orbite la sonde *Akatsuki* (Planet-C) autour de Vénus ainsi que la voile solaire.

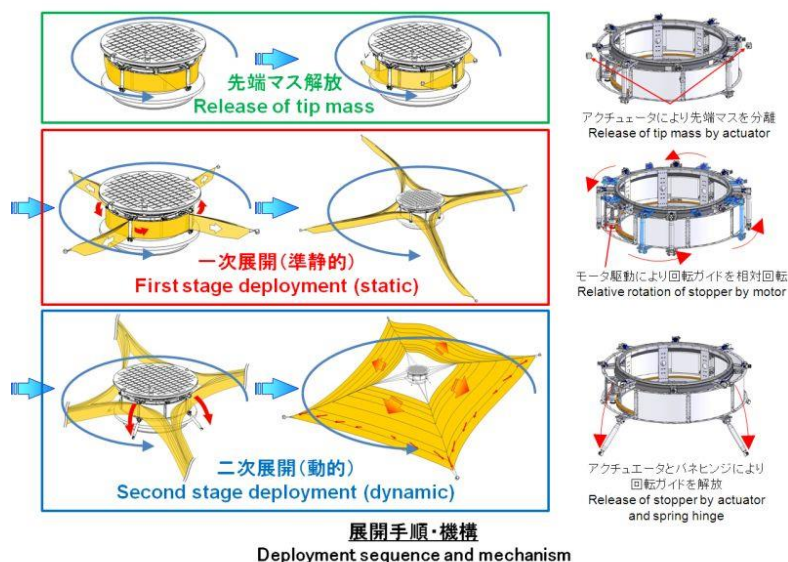
Mais la sonde *Akatsuki* ne réussit pas à orbiter autour de Vénus³³⁸.

³³⁶ L'inconvénient majeur de ce type de propulsion est le suivant: la taille de la voile doit être nettement supérieure à la taille du vaisseau à mouvoir dans l'espace. La voile n'est en outre deployable que dans l'espace. Source : DAWSON Linda, *The politics and perils of space exploration - Who will compete, who will dominate ?*, Springer editions, 22 November 2016, p. 186.

³³⁷ « Small Solar Power Sail Demonstrator IKAROS », JAXA, disponible à l'adresse suivante : http://global.jaxa.jp/countdown/f17/overview/ikaros_e.html (consultée le 5 juillet 2018).

³³⁸ HOWELL Elizabeth, « Ikaros: First Successful Solar Sail », Space.com, 7th May 2014, disponible à l'adresse suivante: <https://www.space.com/25800-ikaros-solar-sail.html> (consultée le 5 juillet 2018).

Cependant, le 16 juillet 2010, la sonde *Akatsuki* réussit à utiliser ce système de propulsion particulier³³⁹ (la voile solaire *Ikaros*). En mai 2015, elle se situait à 110 millions de kilomètres de la Terre et à 130 millions de kilomètres du soleil³⁴⁰. La sonde se situe toujours actuellement dans notre système solaire³⁴¹.

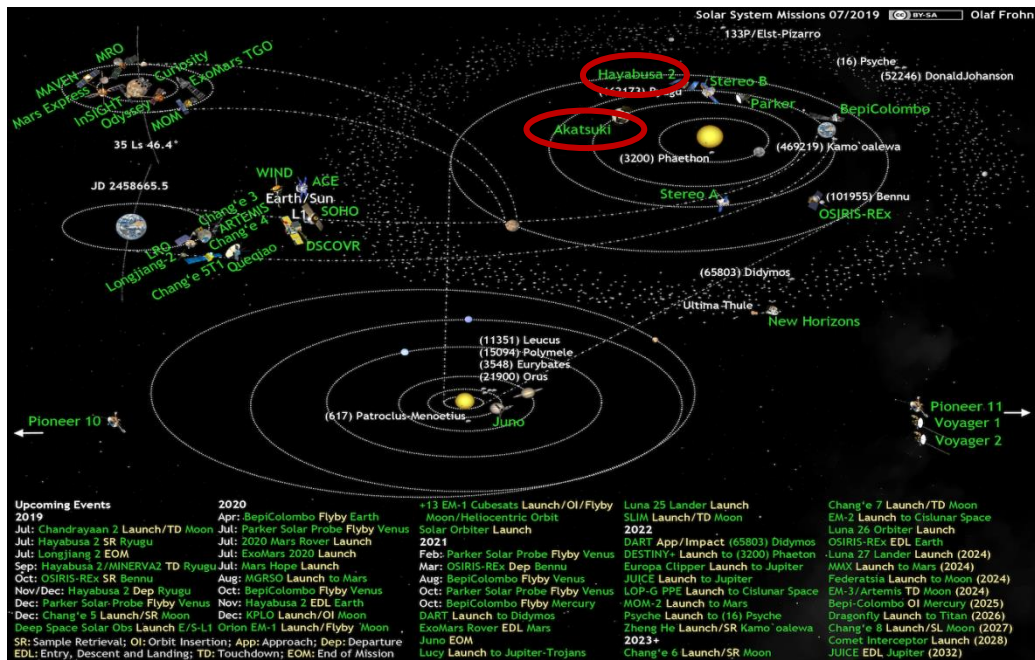


Source : « Small Solar Power Sail Demonstrator IKAROS », JAXA, disponible à l'adresse suivante : http://global.jaxa.jp/countdown/f17/overview/ikaros_e.html (consultée le 5 juillet 2018)

³³⁹ Ce mode de propulsion associé à la miniaturisation et aux nanotechnologies pourrait en théorie permettre de voyager vers d'autres systèmes stellaires. Le succès d'Ikaros a probablement donné de l'inspiration à d'autres, en particulier aux physiciens américains Stephen HAWKING (décédé en 2018) et Iouri MILNER, lesquels ont bénéficié du soutien financier de Mark ZUKERBERG (le PDG de Facebook). Ce trio fut à la base du projet *Breakthrough Starshot* (« tir vers les étoiles ») ayant débuté en 2015 par de nombreuses simulations mathématiques : il s'agit d'étudier la faisabilité de propulser à 20% de la vitesse de la lumière une sonde d'un gramme reliée à une voile de quatre mètres d'envergure afin de répondre à la grande question : « sommes-nous seuls dans l'univers ? » (théoriquement en sept secondes la sonde atteindrait la Lune, en une demi-heure elle dépasserait déjà l'orbite de Mars et en vingt ans elle atteindrait le système stellaire et planétaire Alpha du Centaure sachant qu'en comparaison il faudrait 3000 ans pour y arriver avec une fusée Saturne V avec le carburant nécessaire et seulement 4 ans et demi (100% de) la vitesse de la lumière). Les plus gros défis sont les suivants : (1) ne plus compter exclusivement sur la lumière sur la propulsion (des lasers sont même envisagés afin de créer de la lumière), (2) disposer d'une voile aussi légère que solide car capable de résister aux collisions avec des petites roches et les poussières interstellaires, (3) trouver le moyen de décélérer en repliant la voile en *origami* puis en fonction de la destination choisie redéployer la voile permettant ainsi la ré-accelération, (4) maintenir la communication avec le micro-vaisseau pour le diriger et enfin (5) obtenir des images nettes une fois arrivé à chaque destination jusqu'à la destination finale. *Breakthroughinitiatives* est une association d'origine privée et de nature académique, elle comprend dans son organe de gestion un australien, un anglais, un chinois mais également un japonais (Shin-ya NARUSAWA) et le projet *Breakthrough Starshot* géré par cette association comporte un membre japonais de l'université de Kobe : Kaya NOBUYUKI. Sources : COURTOIS Hélène et TOGNINI Michel, *Explorateurs de l'espace - Voyage aux frontières de l'Univers*, éditions Dunod, Avril 2019, pp. 117-122 / HOWELL Elizabeth, « Ikaros: First Successful Solar Sail », Space.com, 7/05/2014, disponible à l'adresse suivante: <https://www.space.com/25800-ikaros-solar-sail.html> (consultée le 5 juillet 2018) / « Internet Investor and science philanthropist Yuri Milner & Physicist Stephen Hawking announce Breakthrough Starshot Project to develop 100 million mile per hour mission to the stars within a generation, Breakthrough.org », 12 April 2016, disponible à l'adresse suivante: <https://breakthroughinitiatives.org/news/4> (consultée le 6 juin 2019).

³⁴⁰ Source : « What's new (2015) », JAXA, disponible à l'adresse suivante: <http://global.jaxa.jp/news/2015/#news4589> (consultée le 5 juillet 2018) / « IKAROS enters hibernation mode for 5th time », JAXA, disponible à l'adresse suivante : <http://global.jaxa.jp/projects/sat/ikaros/topics.html#topics4743> (consultée le 5 juillet 2018).

³⁴¹ Source : FROHN Olaf, « A diagram of active space missions traveling beyond Earth orbit, July 2019 », The Planetary Society, disponible à l'adresse suivante : <http://www.planetary.org/multimedia/space-images/charts/whats-up-in-the-solar-system-frohn.html> (consultée le 6 décembre 2019).



Position des sondes actives dans notre système solaire au 1/07/2019, sondes japonaises encadrées en rouge : Akatsuki et Hayabusa-2
 Source : FROHN Olaf, « A diagram of active space missions traveling beyond Earth orbit, July 2019 », The Planetary Society, disponible à l'adresse suivante : <http://www.planetary.org/multimedia/space-images/charts/whats-up-in-the-solar-system-frohn.html> (consultée le 6 décembre 2019).

- SLATS (Satellite expérimental d'altitude extrêmement basse) ou *Tsubame*³⁴² est un micro-satellite expérimental développé par la JAXA, il fut lancé le 23 décembre 2017. Il a pour objectif de tester le recours à un moteur ionique en orbite très basse (< 300 km) sur une longue période.

Pourquoi cette mission ? Le gros inconvénient de l'orbite très basse est la grosse consommation d'ergols pour se maintenir à cette très basse altitude. Les avantages de cette orbite dans le cadre des missions d'observation de la Terre sont les suivants : (1) les instruments optiques bénéficient d'un pouvoir de résolution plus élevé, (2) les liaisons radio exigent des émetteurs moins puissants et (3) la mise en orbite nécessite un lanceur moins puissant donc moins cher. Cette mission permet de lever cet inconvénient majeur mentionné ci-dessus en limitant la quantité d'ergols emportée. En effet un moteur ionique dispose d'un rendement 10 fois plus efficace qu'un système de propulsion chimique.

Télescopes et observatoires spatiaux

La JAXA dispose d'un observatoire spatial opérationnel : *Hinode* (ou SOLAR-B) lancé en 2006 est un observatoire solaire.

La JAXA disposait d'un second télescope spatial à rayons X nommé ASTRO-H. Malheureusement, il fut perdu durant la phase de déploiement en orbite en février 2016 (voir les détails au chapitre 4.1). Il doit être remplacé par un nouveau télescope à rayons X mous³⁴³ qui devait être lancé dans le cadre

³⁴² Source: « Test Satellite "TSUBAME" (SLATS) », JAXA, 1/06/2018, disponible à l'adresse suivante : <http://global.jaxa.jp/projects/sat/slats/> (consulté le 9 juillet 2018).

³⁴³ Il reprend d'ailleurs une partie de l'instrumentation du télescope *Hitomi* qui s'était désintégré en mars 2016 peu après son lancement durant son déploiement.

de la *X-ray Astronomy Recovery Mission* (XARM). La mission a été renommée XRISM³⁴⁴ (*X-Ray Imaging and Spectroscopy Mission*), et son lancement serait prévu en 2021 par une fusée japonaise (un lanceur lourd de type H-IIA).

SPICA sera un télescope infrarouge de grande taille (miroir de 2,5 mètres) étudié en coopération avec l'Agence spatiale européenne. Le lancement a en effet été repoussé en 2027 principalement pour des raisons d'ordre budgétaire.

Le programme spatial militaire japonais

Suite à la défaite lors de la seconde guerre mondiale, l'article 9 de la Constitution japonaise de 1947 interdit au Japon la possibilité de se doter d'une armée ; dès lors, son programme spatial fut intégralement civil jusqu'en 1998.

Pris au pied de la lettre, l'article 9 de la Constitution (symbole du pacifisme) empêche le Japon de détenir des armes et de s'en servir pour résoudre un différend international³⁴⁵. Or, les nationalistes considèrent que cette restriction entrave la souveraineté du pays. Cependant, le Japon a toujours interprété cet article considérant que la défense du territoire par des moyens minimaux était autorisée

Pourquoi ce changement en 1998 ?

Le 31 août 1998 la Corée du Nord annonce avoir réussi à mettre en orbite son premier satellite³⁴⁶ (fait d'ailleurs contesté par tous les experts occidentaux à l'époque). Néanmoins, la trajectoire du lanceur, dérivé d'un missile balistique *Taepodong-1*, survola le nord du Japon et prouva que le pays devint désormais à portée d'un tir militaire balistique provenant de la Corée du Nord.

Cet incident mit en évidence la dépendance du Japon vis-à-vis des satellites de renseignement américains surveillant le territoire nord-coréen. Or les militaires américains, d'une part avaient détecté le tir de la fusée nord-coréenne sans en informer les dirigeants japonais, et d'autre part repoussèrent les demandes de renseignement émanant des autorités japonaises, malgré la coopération militaire étroite entre les deux pays. Dès lors, le Japon décide de devenir autonome en la matière en se dotant de ses propres satellites de renseignement. Ce programme baptisé *Information Gathering Satellite* (IGS) fut présenté comme un programme à usage mixte, à la fois civil et militaire³⁴⁷, mais dans les faits les images qui seront produites par les satellites, ne seront jamais déclassifiées (sauf lors du tsunami³⁴⁸ de mars 2011).

³⁴⁴ Source : « About XRISM », NASA, 4/09/2018, disponible à l'adresse suivante : <https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/xrism/about/> (consultée le 18 septembre 2018).

³⁴⁵ Fin 2007 le ministre de la défense s'est demandé si la Constitution japonaise autorisait le pays à se défendre contre une hypothétique attaque du pays par des extra-terrestres débarquant en soucoupe volante ! Ce genre de propos ternit l'image du monde politique au Japon si bien que la population accorde peu de crédits aux hommes politiques nationaux et cela handicape le Japon dans les instances internationales. Source : POUPEE Karyn, *Les Japonais*, Collection Texto, Editions Tallandier, 2012, p. 593.

³⁴⁶ Le satellite nord-coréen dénommé *Kwangmyŏngsŏng*.

³⁴⁷ Le journal japonais *Asahi Shinbun* mentionne clairement que le programme IGS (satellites de reconnaissance ayant pour mission de surveiller les pays voisins) est une réponse directe au tir du missile nord-coréen de 1998. Source : PEKKANEN Saadia (professeure à l'Université de Washington), *Le Japon, une puissance spatiale sous-estimée* in « Géopolitique de l'espace », *Diplomatie*, les grands dossiers n° 34, Août-Septembre 2016, p. 73.

³⁴⁸ Tsunami (津波、つなみ) signifie « raz-de-marée ».

À l'époque, le Japon fut pris par surprise, car il ne disposait que de faibles ressources en la matière : son satellite MOS-1, c.-à-d. son premier satellite de télédétection japonais à usage civil, ne fut lancé qu'en 1987.

Les deux premiers satellites à usage militaire furent lancés par une fusée H-IIA le 28 mars 2003.

Le programme *Information Gathering Satellite* (IGS), regroupe le développement et l'utilisation des satellites de renseignement optiques et radars. Le programme est sous le contrôle direct du cabinet du premier ministre du Japon. Il constitue le deuxième poste du budget spatial (634 millions € demandés en 2012 soit 20 % du budget total). En juillet 2012, le Japon disposait de 5 satellites opérationnels dont 4 optiques et 1 radar.

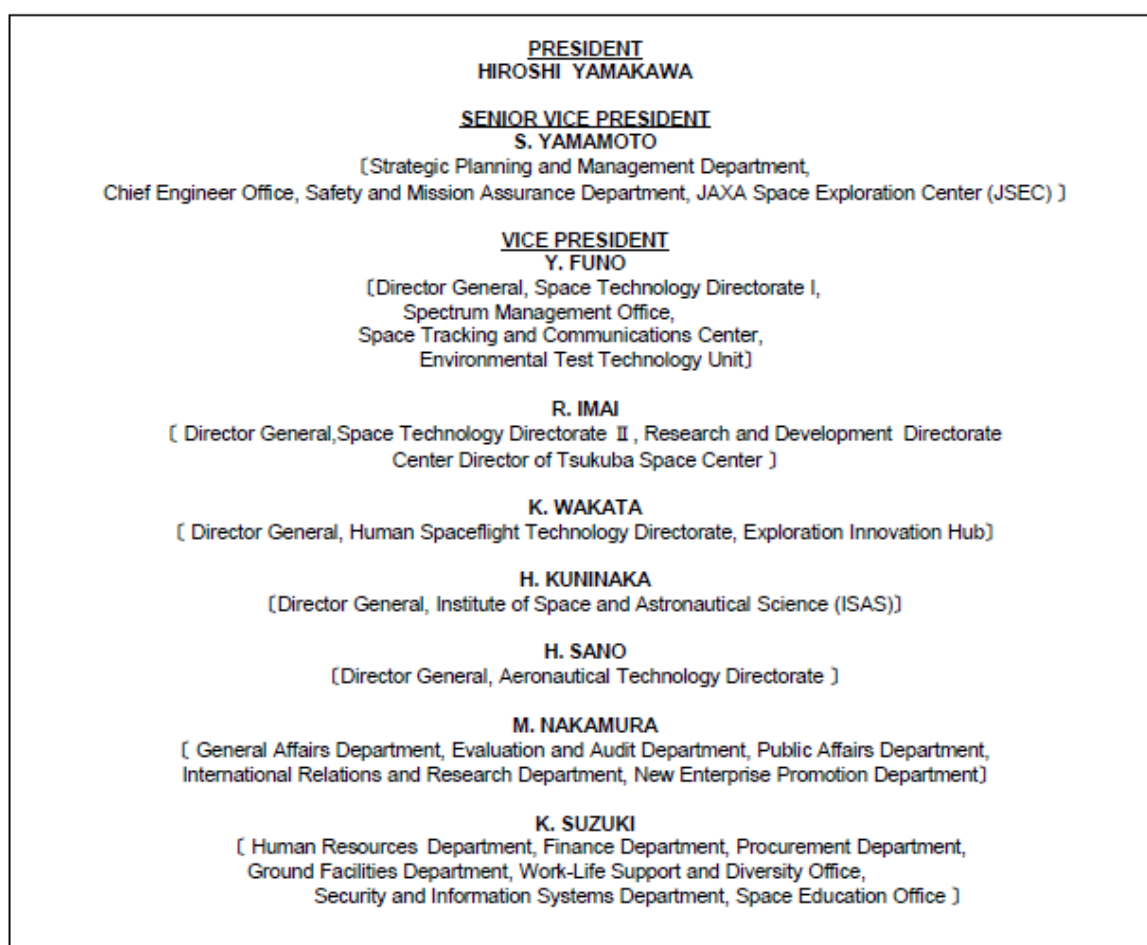
Le Japon a été pionnier des technologies satellitaires, ainsi dès 1997 il disposait déjà de capacités contre-spaciales par son ETS-VII (Engineering test Satellite), lequel était composé d'un satellite chasseur et d'un satellite cible prouvant les capacités de rendez-vous et d'amarrage, de capture, de prise d'images et de remplacement d'équipements. Même si cela augure de capacités commerciales séduisantes (par exemple l'entretien de satellites propres ou de ceux des pays alliés), cela peut surtout constituer une capacité offensive face aux satellites de pays ennemis. Cela pourrait également être le cas dans le domaine du déploiement de satellites sans passer par des lanceurs classiques. En effet, un avion spatial expérimental capable de traverser la zone aérospatiale de transition³⁴⁹ pour arriver dans l'espace extra-atmosphérique afin d'y déployer des satellites, pourrait également détruire des satellites adverses par cette même technologie.

³⁴⁹ La « zone aérospatiale de transition » (ZAT) couvre l'espace aérien entre 60 km (dit « aéropause » : altitude maximale des avions et des ballons) et 200 km. Cependant c'est la ligne de Karman (100 km au-dessus du niveau de la mer) qui représente le standard international définissant la frontière entre l'atmosphère terrestre et l'espace extra-atmosphérique.

Annexe 3 : Organigramme de la JAXA

La JAXA dépend administrativement du ministère de l'Éducation, de la Culture, des Sports, des Sciences et de la Technologie (*Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology*) dénommé « MEXT »³⁵⁰. Pour ce qui concerne le développement et le lancement de satellites³⁵¹, la loi mentionne la coresponsabilité du « MEXT » et du ministère de la gestion publique, des Affaires intérieures, des postes et des Communications (*Ministry of Public Management, Home Affairs, Posts and Telecommunications*) dénommé « MPHPT ».

JAXA ORGANIZATION CHART



Source : « JAXA Organization Chart », JAXA, disponible à l'adresse suivante : http://global.jaxa.jp/about/org/pdf/org_e.pdf (consultée le 9 juillet 2018).

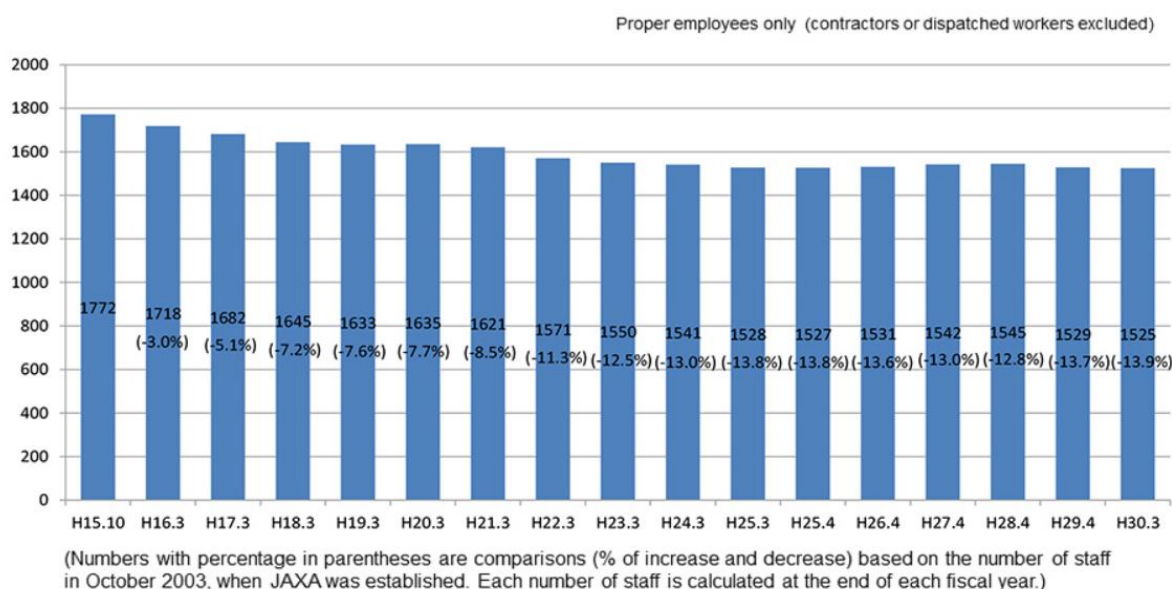
Le Comité interministériel des affaires spatiales (SAC : Space Activities Committee) supervise les activités du MEXT et de la JAXA. Les affaires stratégiques liées aux sciences et aux technologies sont sous la supervision d'un Conseil de la politique des sciences et des technologies (CSTP : Council of Science and Technology Policy) présidé par le premier ministre lui-même. Enfin le 17 juin 2008 le

³⁵⁰ Article 26 de la loi du 13/12/2002 créant la JAXA. Source : Loi créant la JAXA (Law concerning Japan aerospace exploration agency - Law nr 161 of 13th December 2002), disponible à l'adresse suivante : http://global.jaxa.jp/about/law/law_e.pdf (consultée le 29 juin 2018).

³⁵¹ Article 26 de la loi du 13/12/2002 créant la JAXA. Source : *Ibid*.

Japon nomma un ministre du développement spatial (Minister of space development)³⁵². Cela a été interprété par l'abandon de la politique antérieure visant à empêcher l'utilisation des programmes spatiaux à des fins militaires défensives. Un plan de base de la sécurité spatiale le 2 juin 2009³⁵³ et surtout la modification du statut de la JAXA en 2012 officialiseront le renforcement de la sécurité nationale par l'usage de moyens spatiaux.

La JAXA compte 1.525 employés en 2018.



Source : « Transition of Number of Staff and Budget », JAXA, disponible à l'adresse suivante : <http://global.jaxa.jp/about/transition/index.html> (consultée le 10 juillet 2018).

A la JAXA s'ajoute l'industrie spatiale japonaise composée principalement des sociétés suivantes :

- Mitsubishi Heavy Industries est le maître d'œuvre de la fusée H-IIA (à ergols liquides);
- Kawasaki Heavy Industries ;
- IHI Aerospace, du groupe IHI (Ishikawajima Heavy Industries), un spécialiste de la propulsion solide (en plus de certaines compétences dans la propulsion chimique des satellites ou dans d'autres sous-systèmes) construit des fusées-sonde et est le maître d'œuvre des lanceurs légers japonais comme *Epsilon* et des étages à propergol solide ;
- Nissan a conçu des fusées à ergols solides et dispose de centres de test (Taketoyo, Tomioka)³⁵⁴
- Les satellites japonais sont construits par Mitsubishi Electric, NEC (Nippon Electric Company) Corporation, Toshiba et Kawasaki.

En 2010, on pouvait estimer le personnel total dans le secteur spatial au Japon à 9.500 personnes³⁵⁵, 8.300 en décembre 2011³⁵⁶.

³⁵² Source : Lile Ajey, *Asian Space Race : Rethoric or Reality ?*, Springer editions, 2013, p. 98 .

³⁵³ Source: *Ibid.* p. 103.

³⁵⁴ Source: HARVEY Brian, SMID Henk H F, PIRARD Theo, *Emerging space powers : The new space programs of Asia, the Middle East, and South America*, Springer Praxis, 2010, p. 139.

³⁵⁵ Source: *Ibid.* p. 131.

Annexe 4 : Evolution des budgets spatiaux 2011-2017

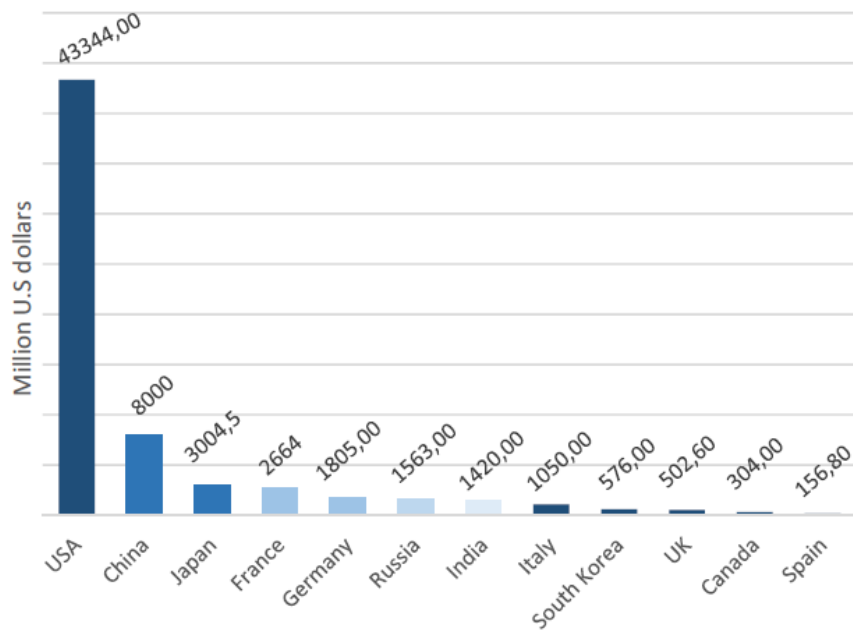


Figure 2.1: Public Space budgets of major space power in 2017 (Source: The Space Report 2018) – Military space budgets excluded

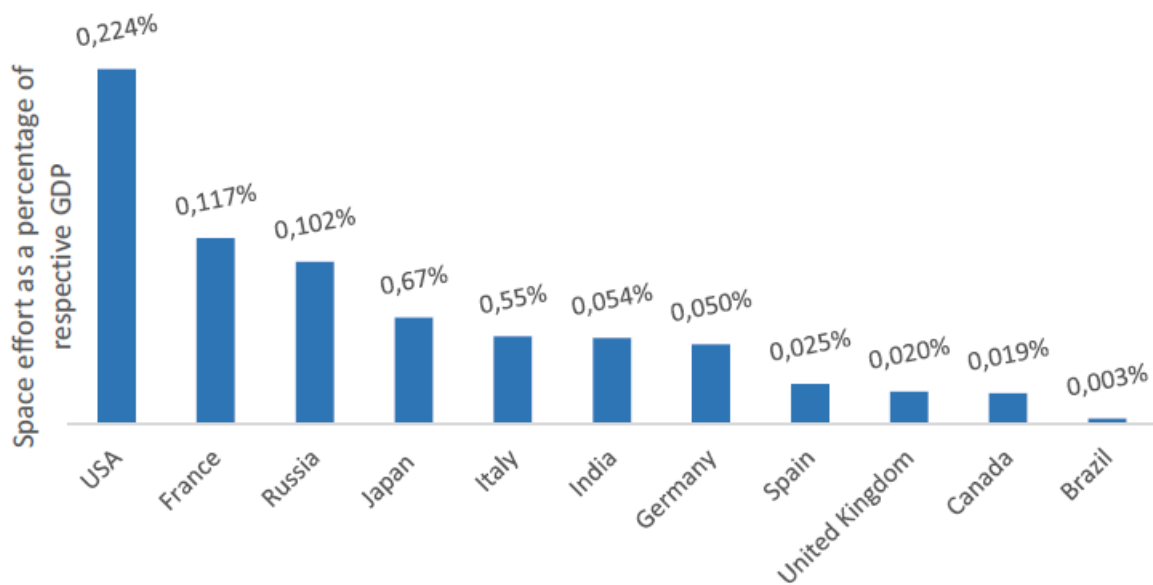


Figure 2.2: Public Space Budgets as a share of nom. GDP in 2017 (Source Space Report 2018)

According to me, this chart includes two errors: figure for Japan should be 0,067 and figure for Italy should be 0,055. Furthermore, information about China is also missing. Since figure was 0,029 in 2016, I used the same figure in 2017.

D'après la source suivante:

AL-EKABI Cenani, « Space Policies, Issues and Trends in 2016-2017 », ESPI (European Space Policy Institute) Report 63, September 2017, disponible à l'adresse suivante : <https://espi.or.at/publications/espi-public-reports> (consultée le 29 avril 2019).

³⁵⁶ Source : Lile Ajey, *Asian Space Race : Rethoric or Reality ?*, Springer editions, 2013, p. 265.

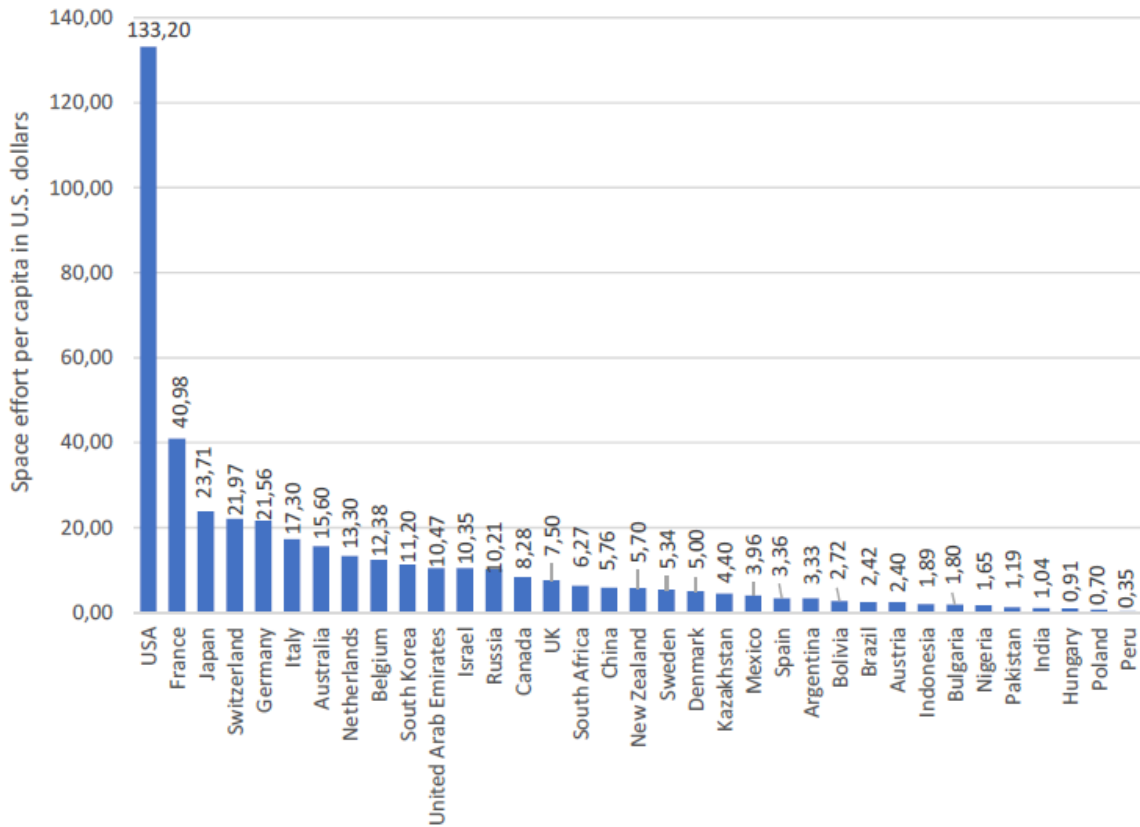
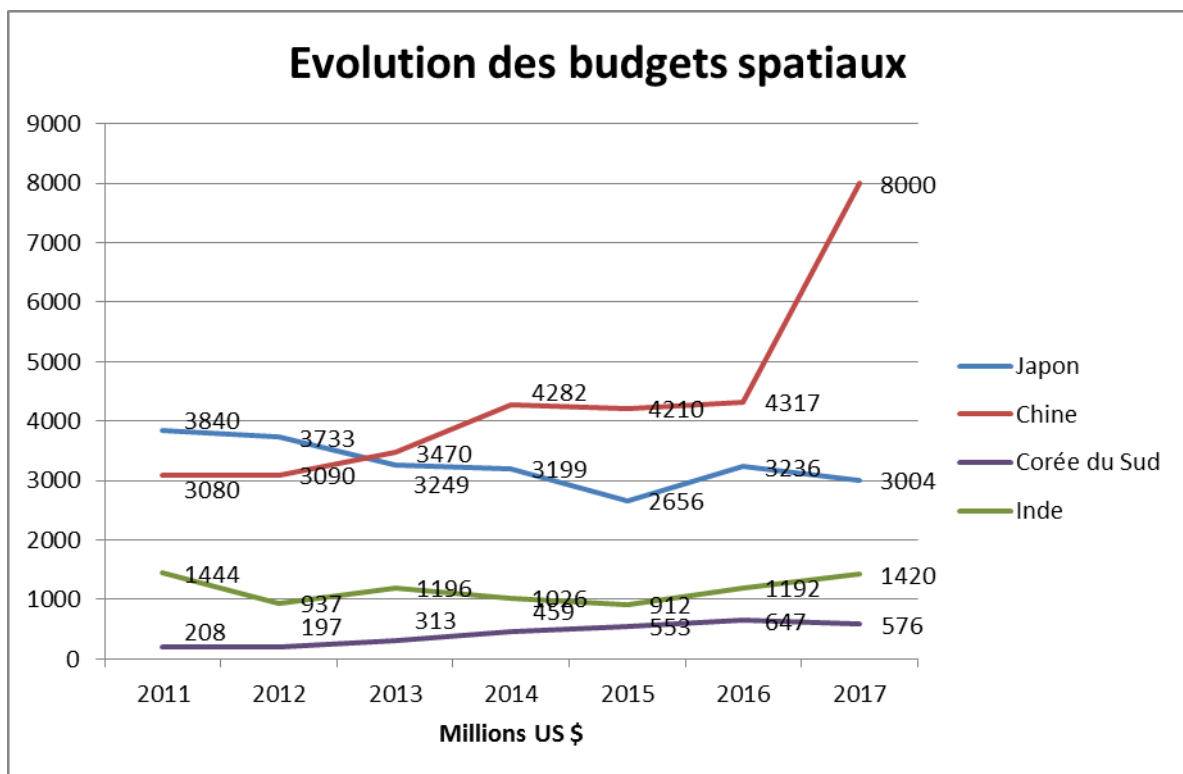
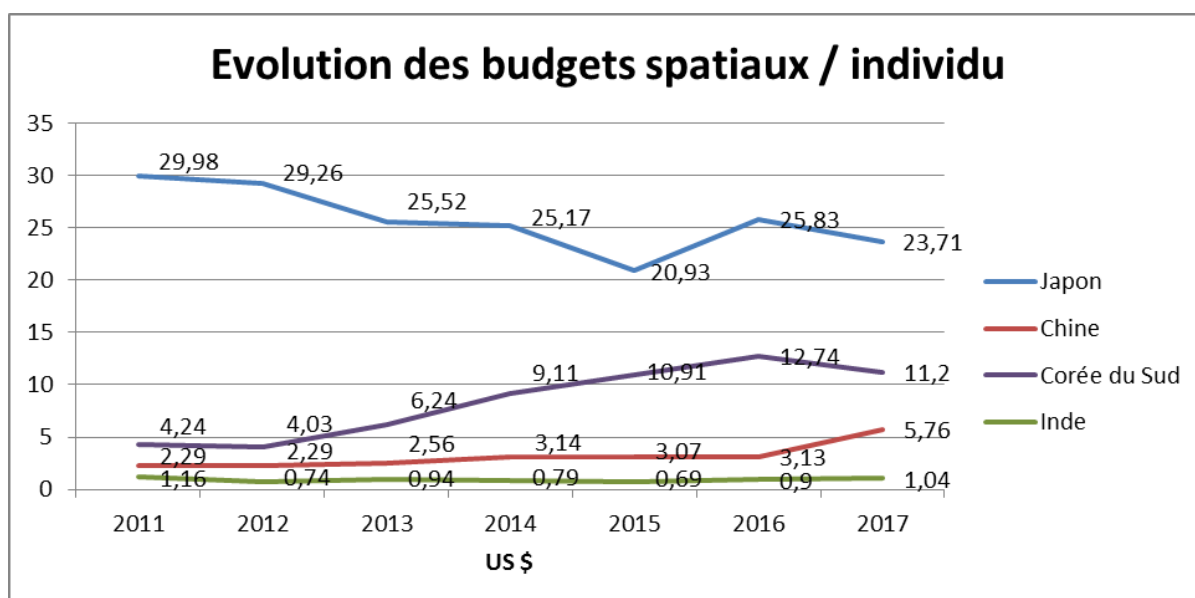
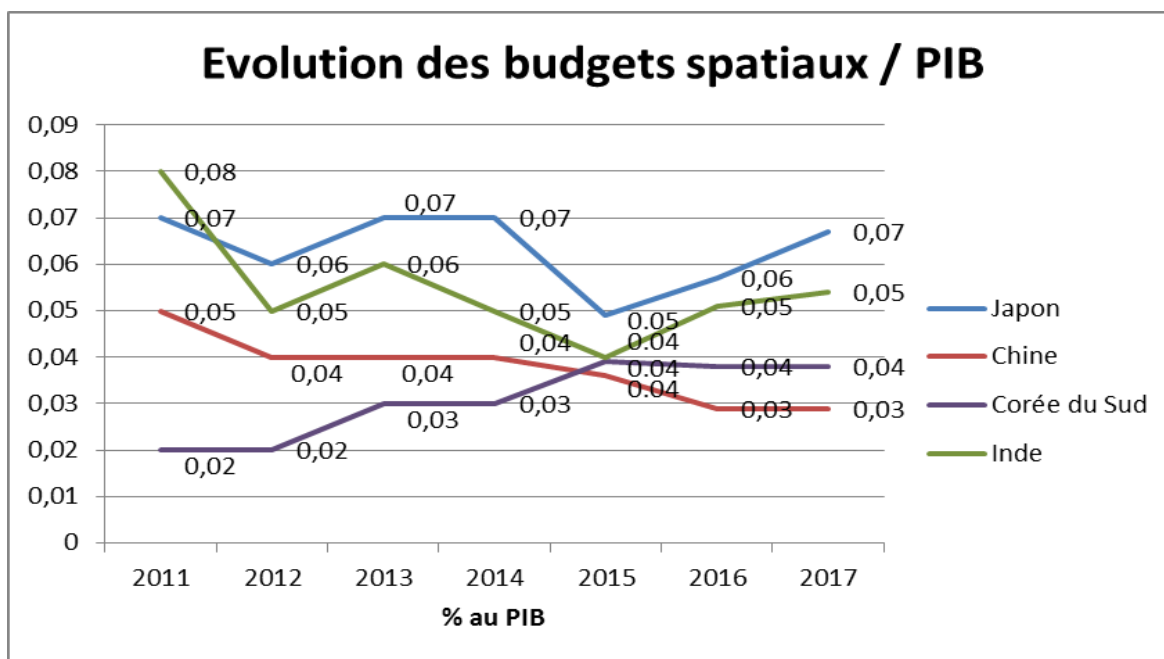


Figure 2.3: Public space budgets per capita (selection) in 2017 (Source: The Space Report and Population Reference Bureau)

D'après la source suivante :

BORDACCHINI Giulia and BURGER Edward, « Space Policies, Issues and Trends in 2017-2018 », ESPI (European Space Policy Institute) Report 65, October 2018, disponible à l'adresse suivante : <https://espi.or.at/publications/espi-public-reports> (consultée le 29 avril 2019).





D'après les sources suivantes :

- (1) AL-EKABI Cenan, « Space Policies, Issues and Trends in 2011-2012 », ESPI (European Space Policy Institute) Report 49, May 2012, disponible à l'adresse suivante: http://www.espi.or.at/images/stories/dokumente/studies/ESPI_Report_42.pdf (consultée le 12 août 2015) ;
- (2) AL-EKABI Cenan, « Space Policies, Issues and Trends in 2012-2014 », ESPI (European Space Policy Institute) Report 49, November 2014, disponible à l'adresse suivante: http://www.espi.or.at/images/stories/dokumente/studies/ESPI_Report_49.pdf (consultée le 12 août 2015).
- (3) AL-EKABI Cenan, « Space Policies, Issues and Trends in 2014-2015 », ESPI (European Space Policy Institute) Report 54, December 2015, disponible à l'adresse suivante : http://www.espi.or.at/images/stories/dokumente/studies/Rep54_ABA_online_151123-1852.pdf (consultée le 10 mars 2016).
- (4) AL-EKABI Cenan, « Space Policies, Issues and Trends in 2015-2016 », ESPI (European Space Policy Institute) Report 61, November 2016, disponible à l'adresse suivante : http://www.espi.or.at/images/Reports/Rep61_online_161128_1459.pdf (consultée le 22 mai 2017).
- (5) AL-EKABI Cenan, « Space Policies, Issues and Trends in 2016-2017 », ESPI (European Space Policy Institute) Report 63, September 2017, disponible à l'adresse suivante : <https://espi.or.at/publications/espi-public-reports> (consultée le 29 avril 2019).
- (6) BORDACCHINI Giulia and BURGER Edward, « Space Policies, Issues and Trends in 2017-2018 », ESPI (European Space Policy Institute) Report 65, October 2018, disponible à l'adresse suivante : <https://espi.or.at/publications/espi-public-reports> (consultée le 29 avril 2019).

Les dépenses militaires des 15 pays les plus dépensiers en 2017

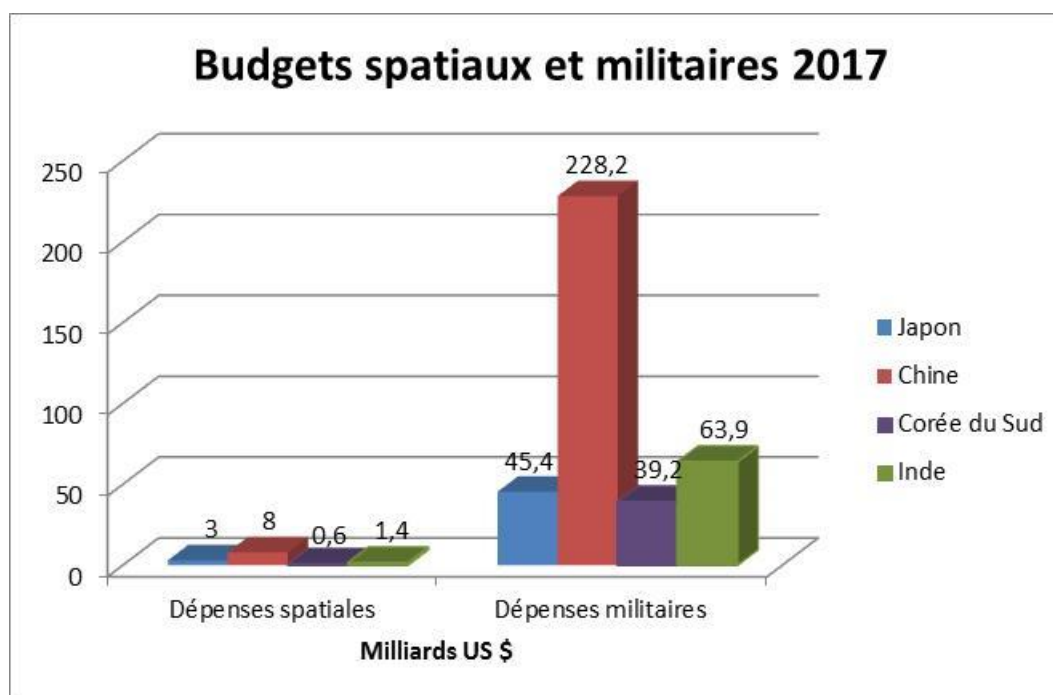
En milliards de dollars de 2017 (prix courants)

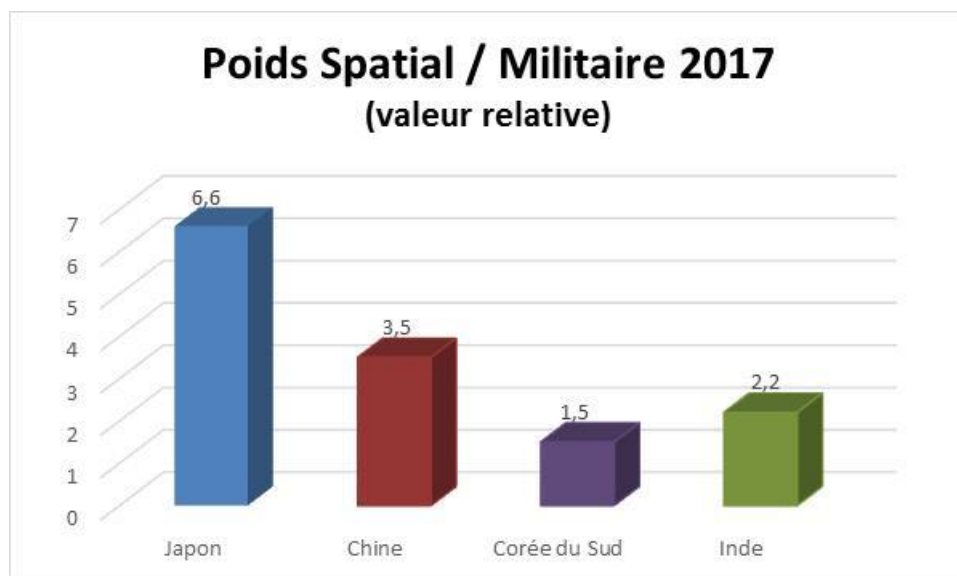
Rang	Pays	Population		PIB		Dépenses militaires			
		en millions (2017)	en % du total mondial	milliards USD prix courants (2017)	en % du total mondial	milliards USD prix courants (2017)	en % du total mondial	en USD, par habitant	en % du PIB
1	États-Unis	325,9	4,4	19 390,6	24,3	609,8	35,1	1 871,1	3,1
2	Chine	1 390,1	18,8	12 014,6	15,0	228,2	13,1	164,2	1,9
3	Arabie saoudite	32,4	0,4	683,8	0,9	69,4	4,0	2 143,9	10,2
4	Russie	144,0	2,0	1 527,5	1,9	66,3	3,8	460,7	4,3
5	Inde	1 316,9	17,9	2 611,0	3,3	63,9	3,7	48,5	2,4
Sous-total top 5		3 209,2	43,5	36 227,5	45,4	1 037,7	59,7	323,3	2,9
6	France	64,8	0,9	2 583,6	3,2	57,8	3,3	891,5	2,2
7	Royaume-Uni	66,1	0,9	2 624,5	3,3	47,2	2,7	714,5	1,8
8	Japon	126,7	1,7	4 872,1	6,1	45,4	2,6	358,1	0,9
9	Allemagne	82,7	1,1	3 684,8	4,6	44,3	2,5	535,9	1,2
10	Corée du Sud	51,5	0,7	1 538,0	1,9	39,2	2,3	760,9	2,5
Sous-total top 10		3 601,0	48,8	51 530,6	64,5	1 271,5	73,1	353,1	2,5
11	Brésil	207,7	2,8	2 055,0	2,6	29,3	1,7	141,0	1,4
12	Italie	60,6	0,8	1 937,9	2,4	29,2	1,7	482,5	1,5
13	Australie	24,8	0,3	1 379,5	1,7	27,5	1,6	1 109,0	2,0
14	Canada	36,7	0,5	1 652,4	2,1	20,6	1,2	561,1	1,2
15	Turquie	80,8	1,1	849,5	1,1	18,2	1,0	225,1	2,1
Sous-total top 15		4 011,5	54,4	59 404,9	74,4	1 396,2	80,3	348,1	2,4
Monde		7 375,6	100,0	79 865,5	100,0	1 738,6	100,0	235,7	2,2

*Sources :

- Population et PIB : Fonds Monétaire International, <http://www.imf.org/external/datamapper/datasets>

- Dépenses militaires : SIPRI Military Expenditure Database, http://www.sipri.org/research/armaments/milex/milex_database





D'après MAMPAEY Luc et STIERNON Christophe, « Dépenses militaires, production et transferts d'armes - Compendium 2018 », Les rapports du GRIP, 2018/3, disponible à l'adresse suivante : https://www.grip.org/sites/grip.org/files/RAPPORTS/2018/Rapport_2018-3.pdf (consultée le 29 avril 2019).

Coopération avec les États-Unis

- Dans le domaine des fusées à ergols liquides, le Japon acquit la licence de fabrication de la fusée américaine Thor à l'automne 1970. La société Mitsubishi³⁵⁷ construisit la fusée, laquelle fut baptisée N-I. En 1994 la nouvelle fusée H-II fut lancée avec succès, elle utilisa uniquement des technologies nationales et mit fin à la dépendance du Japon vis-à-vis de l'industrie spatiale américaine.
- Le Japon collabore avec les États-Unis et l'Europe à la mise en place d'un réseau de satellites géostationnaire dans le cadre de l'Organisation météorologique mondiale.
- La mission *Spacelab J* fut lancée par la NASA le 12 septembre 1992 avec à son bord l'astronaute japonais Mamoru MOHRI.
- L'observatoire spatial japonais *Suzaku* (ou ASTRO-E) lancé en 2005 est un observatoire à rayons X, ce fut réalisé en coopération avec la NASA.
- La mission *Hitomi* fut un projet commun avec la NASA. La mission *Hitomi* fut un échec, le télescope spatial à rayons X ASTRO-H de grande taille a été perdu durant la phase de déploiement en orbite en février 2016³⁵⁸, il fut désintégré en mars 2016.
- Un nouveau télescope à rayons X³⁵⁹ devrait être lancé en 2022 dans le cadre de la *X-ray Astronomy Recovery Mission* (XARM) en collaboration avec la NASA. La mission a été renommée XRISM³⁶⁰ (*X-Ray Imaging and Spectroscopy Mission*), par contre le lancement serait prévu en 2021 par une fusée japonaise (un lanceur lourd de type H-IIA).
- Dès 2011, le Japon et les États-Unis soulignaient l'importance de leur coopération dans le cadre de la protection du domaine spatial et de son accès. Par quelles mesures ?
 - Par la connaissance de la situation spatiale c.-à-d. le *Space Situational Awareness*³⁶¹ (SSA) via un système de navigation par satellites (la France y est associée depuis 2017 par un accord avec le Japon concernant le volet technique du partage de l'information) ;
 - Par la connaissance du domaine maritime depuis l'espace c.-à-d. le *Space-based Maritime Domain Awareness* (MDA) via l'emploi de capteurs dans les océans.
- En avril 2012, le Japon et les États-Unis s'entendaient pour collaborer³⁶² :
 - Au niveau du secteur spatial civil : il s'agissait de développer une coopération au niveau des satellites de géolocalisation (QZSS -*Quasi-Zenith Satellite System*- et GPS -Global

³⁵⁷ Mitsubishi (三菱、みつびし) est le nom de la société « Mitsubishi ». Les activités principales de Mitsubishi sont l'industrie lourde, les activités bancaires/financières et la fabrication de semi-conducteurs, bien qu'à l'étranger elle soit principalement connue pour sa division automobile. Mitsubishi fait partie des quatre grands *Keiretsu* (系列、けいれつ) ou « conglomérats » avec Mitsui, Sumitomo et Yasuda.

³⁵⁸ *Hitomi* s'est désintégré car le satellite a commencé à tourner sur lui-même de manière incontrôlée. Cela était dû à une erreur logiciel dans le système de contrôle d'attitude lié au changement de moment d'inertie suite au déploiement du mât. Source : RAUW Gregor, « La malédiction X a encore frappé ! », *Le Ciel* 2016/9 (Société Astronomique de Liège), pp. 418-421.

³⁵⁹ Il reprend d'ailleurs une partie de l'instrumentation du télescope *Hitomi* qui s'était désintégré en mars 2016 peu après son lancement durant son déploiement. Source : Foust Jeff, « NASA and JAXA to develop replacement X-ray astronomy telescope », *Spacenews*, 1st April 2017, disponible à l'adresse suivante : <https://spacenews.com/nasa-and-jaxa-to-develop-replacement-x-ray-astronomy-telescope/> (consultée le 24 juillet 2018).

³⁶⁰ Source : « About XRISM », NASA, 4/09/2018, disponible à l'adresse suivante : <https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/xrism/about/> (consultée le 18 septembre 2018).

³⁶¹ Source : « Implementation Plan of the Basic Plan on Space Policy (revised FY2017) », Cabinet Office (Bureaux du premier ministre), slide 46 (Space Situation Awareness), 25 April 2018, disponible à l'adresse suivante : <http://www8.cao.go.jp/space/english/basicplan/2017/basicplan.pdf#page=77> (consultée le 13 juillet 2018).

³⁶² Source : Basic Plan of Space Policy, JAXA, 25/06/2013, p. 37, disponible à l'adresse suivante : <http://www8.cao.go.jp/space/plan/plan-eng.pdf> (consultée le 29 juillet 2018).

- Positioning System-)³⁶³, des satellites de télédétection et de la participation aux activités de l'ISS au-delà de 2016, de poursuivre la collaboration au niveau des missions spatiales scientifiques et de la recherche scientifique (en particulier environnementale) ;
- Au niveau militaire : la poursuite de la collaboration dans le cadre du *Space Situational Awareness* mais aussi au niveau de la sécurité spatiale internationale ;
 - Le Japon et les États-Unis signaient un *Space Situational Awareness (SSA) Services and Information Agreement* le 28 mai 2013, puis en 2015 les deux pays renforçaient leurs directives de défense bilatérales soulignant l'importance de garantir l'utilisation, responsable, pacifique et sûre de l'espace³⁶⁴.
 - Le 21 septembre 2017 la NASA et la JAXA ont réaffirmé leur volonté de collaboration³⁶⁵ dans le cadre de leur mission conjointe XARM (faisant suite à l'échec de la mission *Hitomi*). La NASA pourra également exploiter les résultats de la mission japonaise *Akatsuki* (la sonde en orbite autour de Venus chargée d'en étudier le climat). En outre les deux agences spatiales se sont mises d'accord pour s'échanger des échantillons d'astéroïdes issus de leurs missions respectives [mission *Hayabusa-2* de la JAXA vers l'astéroïde *162173 Ryūgū* et mission OSIRIS-REx (*Origins, Spectral Interpretation, Resource Identification, Security, Regolith Explorer*) de la NASA vers l'astéroïde *101955 Bennu*].

Coopération avec la Russie

- En 1986, la plus grande station radio privée japonaise, TBS (*Tokyo Broadcasting System*), décide de célébrer avec éclat son 40^e anniversaire en payant 11,3 millions € un vol d'une semaine à bord de la station soviétique *Mir* à un de ses journalistes, chargé d'effectuer des émissions depuis l'espace (il n'est évidemment pas question d'une quelconque mission scientifique pour un journaliste). Toyohiro AKIYAMA, le rédacteur en chef de la rubrique internationale, est sélectionné puis agréé par les médecins soviétiques. Il devient ainsi le premier touriste spatial qui profite des problèmes financiers de l'Union soviétique en voie de décomposition. Lancé à bord de Soyouz TM-11 le 2 décembre 1990, il devient le 1^{er} astronaute japonais. Il faudra attendre la mission *Spacelab J* lancée par la NASA le 12 septembre 1992 avec à son bord le premier astronaute professionnel japonais Mamoru MOHRI. Ironiquement, un touriste spatial japonais précéda donc l'arrivée d'un astronaute professionnel.

Coopération avec l'Europe

- La JAXA collabore dès mai 2011 avec l'Europe³⁶⁶ dans le but de définir un code de conduite international pour les activités spatiales, de développer une coopération au niveau des satellites de géolocalisation (QZSS -*Quasi-Zenith Satellite System*- et Galileo)³⁶⁷.

³⁶³ Source : *Ibid.* p 39.

³⁶⁴ Source : « Géopolitique de l'espace » - Diplomatie, les grands dossiers n° 34 - Août-Septembre 2016, p. 74.

³⁶⁵ Source : TALBERT Tricia, « NASA, JAXA reaffirm cooperation in space exploration », NASA, 05/06/2018, disponible à l'adresse suivante : <https://www.nasa.gov/feature/nasa-jaxa-reaffirm-cooperation-in-space-exploration> (consultée le 25 juillet 2018).

³⁶⁶ Le tsunami du 11 mars 2011 fit beaucoup pour que le Japon revoie sa position de « cavalier solitaire ». Auparavant dans le cadre du concept de mission MARCO POLO (dès 2005) qui avait pour objet la prise d'échantillons d'un astéroïde proche de la Terre, les scientifiques japonais transmettaient des documents à l'ESA en japonais. Ce concept de mission fut *in fine* rejeté. Mais depuis 2011 la collaboration avec l'ESA s'est nettement améliorée ne fut-ce que par la connaissance de l'anglais par les scientifiques japonais, ce qui change aussi les mentalités. L'ouverture de la JAXA envers le CNES fut bien plus grande dans le cadre de la mission *Hayabusa-2* en 2014, le responsable de mission Makoto YOSHIKAWA estima d'ailleurs que le travail est plus agréable en compagnie d'autres pays puisque l'approche philosophique de la science est identique

- La JAXA collabore avec l'ESA dans le cadre du satellite EarthCARE (prévu pour 2018) chargé de mesurer le bilan radiatif de la Terre.
- BepiColombo est un projet mené en collaboration avec l'Agence spatiale européenne qui comprend deux satellites solidaires au lancement prévu en 2018 qui doivent être placés en orbite autour de la planète Mercure en 2020. Le satellite japonais MMO (*Mercury Magnetospheric Orbiter*) a pour objectif principal l'étude de l'atmosphère et de la magnétosphère de la planète Mercure.
- La JAXA a confirmé le 8 mars 2018 à Tokyo sa volonté de collaboration avec l'ESA dans le cadre de l'ISS et de la mission BepiColombo vers Mercure³⁶⁸.
- SPICA sera un télescope infrarouge de grande taille (miroir de 2,5 mètres) étudié en coopération avec l'Agence spatiale européenne. Le lancement a en effet été repoussé en 2027 principalement pour des raisons d'ordre budgétaire. Les pays européens concernées sont les suivants³⁶⁹ : Pays-Bas, France, Espagne, Italie, Belgique, Allemagne, Grande-Bretagne, Autriche, Suisse et Suède. Les pays nord-américains concernés sont les suivants: États-Unis et Canada.

Coopération avec la Norvège

- La JAXA effectue également des tirs de fusées-sondes depuis des stations situées près des pôles pour l'étude du champ magnétique terrestre : non seulement la base antarctique Shōwa (Japon) mais aussi les bases de lancement situées à Andøya et dans l'archipel de Svalbarden en Norvège.

Coopération avec la France

- *Hayabusa-2* a été lancée en 2014. La mission comprend l'étude d'un astéroïde et le prélèvement d'un échantillon de sol qui doit être retourné sur Terre. Les scientifiques japonais, français et allemands pensent que l'on pourrait trouver sur l'astéroïde *Ryūgū* des matériaux très anciens témoignant de la formation du système solaire (des composants des planètes, voire du Soleil lui-même). La sonde *Hayabusa-2* s'est effectivement rapprochée de l'astéroïde *Ryūgū* en juin 2018. Il était ainsi prévu de larguer trois petits rovers (dénommés MINERVA) ainsi que l'atterrisseur MASCOT, cube de 10 kg conçu par le Centre français des études spatiales (CNES) et des scientifiques allemands. Deux rovers MINERVA se sont déployés sur l'astéroïde le 21/09/2018, au moins l'un d'entre eux s'y déplace de manière autonome en transmettant des photos et des données³⁷⁰. La première phase de collecte devait débiter à la mi-octobre 2018, afin de collecter des échantillons de matière. Le retour sur Terre est prévu fin 2020.
- La JAXA et le CNES prévoient d'envoyer au plus tôt en 2024 une sonde autour de Phobos (un des satellites de Mars) dans le cadre de la mission MMX (Martian Moons Exploration). Le but est de

en Europe et au Japon. Source : DENÈLE Adrien, « L'espace japonais s'ouvre au monde », Ciel et Espace n° 561, Septembre/octobre 2018, disponible à l'adresse suivante :

<https://boutique.cieletespace.fr/liseuse/preview/561/view.html#!/avedocument0/pdf/1/1/1> (consultée le 9 novembre 2018).

³⁶⁷ Source : Basic Plan of Space Policy, JAXA, 25/06/2013, p. 39, disponible à l'adresse suivante : <http://www8.cao.go.jp/space/plan/plan-eng.pdf> (consultée le 29 juillet 2018).

³⁶⁸ Source : « ESA and JAXA confirm further cooperation in space », ESA, 8/03/2018, disponible à l'adresse suivante: https://www.esa.int/Our_Activities/Human_Spaceflight/ESA_and_JAXA_confirm_further_cooperation_in_space (consultée le 25 juillet 2018).

³⁶⁹ Source : « A window on the cold Universe: the SPICA mission », SPICA.com, 11/06/2018, disponible à l'adresse suivante : <http://www.spica-mission.org/> et <http://www.spica-mission.org/consortium.html> (consultée le 23 juillet 2018).

³⁷⁰ Source : JAXA, « MINERVA-II1: Successful image capture, landing on Ryugu and hop! », 22/09/2018, disponible à l'adresse suivante : <http://www.hayabusa2.jaxa.jp/en/topics/20180922e/> (consultée le 27 septembre 2018).

prélever des échantillons de Phobos afin de mieux comprendre sa composition et donc son origine³⁷¹.

Coopération entre agences spatiales multiples

- Le Japon dans le cadre d'une collaboration à l'échelle internationale lança des sondes près de la comète de Halley. *Sakigake* (ou MS-T5), fut la première sonde spatiale du Japon, chargée d'effectuer des tâches de reconnaissance et surtout *Suisei* (ou PLANET A) fut chargée de prendre des images avec sa caméra, ce qu'elle fit le 8 mars 1986.
- En 1986, un comité international prélude à l'exploration du système solaire fut créé : l'IACG (*Inter-Agency Consultative Group*, formé des représentants de l'ESA (européen), d'Intercosmos (russe), de la JAXA (japonaise) et de la NASA. Une coopération directe entre agences spatiales et une coordination de leurs moyens fut pour la première fois possible³⁷². Malheureusement ce comité disparut en 2006 en partie faute de pouvoir rallier l'Inde et la Chine³⁷³. Les membres de ce comité se retrouvèrent au sein d'un groupe de travail « lunaire » (*International Lunar Exploration Working Group*) et un groupe de travail « martien » (*International Mars Exploration Working Group*).
- L'IACG a cédé la place en mai 2007 à l'ISECG (*International Space Exploration Coordination Group*), une plateforme d'échange sur la stratégie d'exploration spatiale individuelle ou collective composée de 15 pays membres³⁷⁴ dont le Japon.
- La JAXA est un participant important de la station spatiale internationale (Europe, Canada, États-Unis, Russie, Japon) avec une participation à hauteur de 12,8% au développement du sous-ensemble américain. Elle assure aussi l'appui logistique apporté à travers le lancement de missions de ravitaillement par le vaisseau cargo HTV (*H-II Transfer Vehicle*³⁷⁵) nommé *Kōnotori*. Elle a aussi fourni le laboratoire spatial JEM (*Japanese Exploration Module*) *Kibō*³⁷⁶, qui est le plus gros module pressurisé de la station spatiale. Sa participation lui donne le droit de disposer d'une place pour un astronaute japonais dans l'équipage permanent environ 6 mois par an. On le voit, la contribution japonaise au sein de la station spatiale internationale n'est pas négligeable.

³⁷¹ Source : DENÈLE Adrien, « L'espace japonais s'ouvre au monde », *Ciel et Espace* n° 561, Septembre/octobre 2018, disponible à l'adresse suivante : <https://boutique.cieletespace.fr/liseuse/preview/561/view.html#!/avedocument0/pdf/1/1/1> (consultée le 9 novembre 2018).

³⁷² Ce qui permit à la sonde européenne Giotto de s'approcher si près du noyau de la comète de Halley après le repérage soviétique de la sonde Vega.

³⁷³ AMMAR-ISRAËL Arlène et FELLOUS Jean-Louis, *L'exploration spatiale - au carrefour entre la science et la politique*, CNRS éd. 2011, p. 191.

³⁷⁴ ASI (Italie), CNES (France), CNSA (Chine), CSA (Canada), CSIRO (Australie), DLR (Allemagne), Esa (Europe), ISRO (Inde), JAXA (Japon), KARI (république de Corée), Nasa (USA), NSAU (Ukraine), Roscosmos (Russie), UKSA (Royaume Uni). Source : ISECG, « ISECG members », disponible à l'adresse suivante : http://www.globalspaceexploration.org/wordpress/?page_id=50 (consultée le 27 juillet 2015).

³⁷⁵ Le HTV est aussi appelé *Kōnotori* (鵜、こうのとり) c.-à-d. « cigogne orientale » ou « cigogne blanche ».

³⁷⁶ Le *Japanese experiment module* fut baptisé *Kibō* (希望、きぼう) c.-à-d. « espoir ».

- Des multiples accords bilatéraux de coopération (*Memorandum of Understanding*) ont été signés avec les agences spatiales de certains pays (le Canada le 26 mars 2012 et la Grande Bretagne le 10 avril 2012)³⁷⁷.

Coopération au niveau régional

- La JAXA utilise ses satellites de télédétection (ex : observation de la Terre) au profit des pays de l'ASEAN³⁷⁸ dans le cadre de la prévention des catastrophes naturelles dans la région. Le Japon a signé un accord de coopération avec la Thaïlande³⁷⁹ en 2017 afin de lutter contre la congestion du trafic routier, le Japon assurant ainsi la promotion de ses satellites de géolocalisation de type QZSS (*Quasi-Zenith Satellite System*). Un accord similaire a été signé avec l'Indonésie en 2017 mais portant sur la surveillance maritime.
- Le Japon joue un rôle majeur dans le cadre de l'APRSF (*Asia-Pacific Regional Space Agency Forum*), lequel comporte l'Inde et la Chine³⁸⁰. Ce forum, créé en 1993, traite de la gestion des désastres naturels, des questions environnementales et climatiques et de la coopération asiatique grâce à l'emploi du laboratoire spatial japonais *Kibō*.

Coopération avec l'Inde

- La JAXA et l'ISRO (Indian Space Research Organization) ont signé en novembre 2016 un accord de coopération (*Memorandum of Understanding*) concernant le partage de données satellitaires liées aux mesures scientifiques des précipitations³⁸¹.

Coopération au niveau des Nations unies

- Le Japon est membre du COPUOS (Comité sur l'utilisation pacifique de l'espace), organisation à la base de la rédaction des traités internationaux spatiaux.
- Le Japon est membre de l'UIT (Union Internationale des Télécommunications) au sein de laquelle sont arbitrées les allocations de fréquences et d'orbites relatives aux activités satellitaires.
- Le Japon rejoint en outre, une multiplicité d'entités spécialisées créées à l'initiative d'agences spatiales d'autres pays : le CEOS (*Committee on Earth Observation Satellites*), l'IADC (*Inter-Agency Space Debris Coordination Committee* : le Comité interagences sur les débris spatiaux), la Charte internationale sur la gestion des catastrophes naturelles et technologiques, ...

³⁷⁷ Source : Basic Plan of Space Policy, JAXA, 25/06/2013, p 38, disponible à l'adresse suivante : <http://www8.cao.go.jp/space/plan/plan-eng.pdf> (consultée le 29 juin 2018).

³⁷⁸ Pour rappel, les membres de l'ASEAN (*Association of Southeast Asian Nations*) sont les suivants : la Thaïlande, l'Indonésie, la Malaisie, le Vietnam, Singapour, Les Philippines, le Myanmar (l'ex-Birmanie), le Cambodge, le Laos et Brunei.

³⁷⁹ Source : Basic Plan of Space Policy, JAXA, 25/06/2013, p 108, disponible à l'adresse suivante : <http://www8.cao.go.jp/space/plan/plan-eng.pdf> (consultée le 24 juillet 2018).

³⁸⁰ L'APRSF comporte 727 organisations membres issues de 46 pays dont la France, le Canada, l'Allemagne, les Pays-Bas, l'Italie, l'Inde, le Sri Lanka, le Pakistan, l'Australie, la Nouvelle Zélande, les USA, la Russie, la Mongolie, le Vietnam, Singapour, les Philippines, l'Indonésie, la Malaisie, la Chine, Taiwan, Israël. Source: Asia-Pacific Regional Space Agency Forum , « APRSAF participants », disponible à l'adresse suivante: <https://www.aprsaf.org/participants/> (consultée le 1er novembre 2018).

³⁸¹ Source: « JAXA and Indian Space Research Organization (ISRO) signed the Implementation Arrangement (IA) concerning cooperation on validations, improvements, and applications of rainfall products using satellite images and ground measurements », JAXA, disponible à l'adresse suivante : <http://global.jaxa.jp/projects/activity/int/topics.html> (consultée le 10 juillet 2018).

- En 2009, la JAXA lance son satellite d'observation³⁸² *Ibuki*³⁸³, le premier au monde à suivre les gaz à effet de serre autour du globe. En 2018, la JAXA lance *Ibuki-2* dans le cadre du suivi des accords de Paris de 2015³⁸⁴.

Coopération au niveau commercial

- Les recettes commerciales de la JAXA sont malheureusement limitées³⁸⁵ :
 - à la fourniture et au lancement de quelques satellites (un pour Singapour en 2008, deux pour la Turquie et deux pour le Vietnam en 2011, ...) ;
 - au lancement d'un satellite en 2009 pour la Corée du Sud.

³⁸² Satellite de type GOSAT (Greenhouse Gases Observing Satellite). Source: Lile Ajey, *Asian Space Race : Rethoric or Reality ?*, Springer editions, 2013, p. 244.

³⁸³ *Ibuki* (息吹、いぶき) signifie « respiration » ou « vitalité ».

³⁸⁴ Source: Suk Sarah, « Japan puts upgraded greenhouse gas observation satellite Ibuki-2 into orbit », The Japan times news, 29/10/2018, disponible à l'adresse suivante : <https://www.japantimes.co.jp/news/2018/10/29/national/science-health/japan-puts-upgraded-greenhouse-gas-observation-satellite-ibuki-2-orbit/#.W9t2uNVKguU> (consultée le 1^{er} novembre 2018).

³⁸⁵ Source : Basic Plan of Space Policy, JAXA, 25/06/2013, p. 40, disponible à l'adresse suivante : <http://www8.cao.go.jp/space/plan/plan-eng.pdf> (consultée le 29 juillet 2018).

Annexe 7 : Coût des missions spatiales japonaises identifiées comme « innovantes »

Mission	Coût estimé pour la JAXA	Coopération / Activité en solo
Hitomi	312 million € ³⁸⁶	JAXA
SPICA	500 million € ³⁸⁷	ESA - JAXA
Hiten	Non disponible	JAXA
Akatsuki	Non disponible	JAXA
Hayabusa-1	Non disponible	JAXA
Hayabusa-2	Non disponible	JAXA
Tsubame	Non disponible	JAXA

Cette annexe démontre le niveau d'opacité concernant les informations budgétaires de la JAXA. Il a été impossible d'obtenir des données chiffrées par mission spatiale.

³⁸⁶ La JAXA a investi 290 millions \$ (soit 248 millions €) et la NASA 70 million \$. Source : « Japan abandons costly X-ray satellite lost in space », AP News, 29/04/2016, disponible à l'adresse suivante : <https://apnews.com/9e60d7cf40db4751926a9247f663e55a/japan-abandons-costly-x-ray-satellite-lost-space> (consultée le 24 juillet 2018). Cependant une autre source mentionne le chiffre de 365 millions \$ soit 312 millions €. Source : TRACEY Janey, « JAXA is « very sorry » they'll never get the Hitomi Satellite back », Outerplaces.com, 28/04/2016, disponible à l'adresse suivante : <https://www.outerplaces.com/science/item/11985-jaxa-acknowledges-they-ll-never-get-the-hitomi-satellite-back> (consultée le 25 juillet 2018). Une autre source encore annonce le chiffre de 280 millions \$ soit 239,6 millions €. Source : CLARK Stephen, « Attitude control failures led to break-up of Japanese astronomy satellite », SpaceFlightNow.com, 18/04/2016, disponible à l'adresse suivante : <https://spaceflightnow.com/2016/04/18/spinning-japanese-astronomy-satellite-may-be-beyond-saving/> (consultée le 25 juillet 2018).

³⁸⁷ Le projet global s'élève à 1 milliard €. L'ESA finance 500 millions €. Source : FRANSEN René, « SRON in finals with successor to Herschel satellite », 13 May 2018, University of Groningen, disponible à l'adresse suivante : <https://www.rug.nl/news/2018/05/sron-in-finals-with-successor-to-herschel-satellite?lang=en> (consultée le 23 juillet 2018).

Annexe 8 : La notion de dette morale selon la mentalité japonaise

Décrire la mentalité spécifiquement japonaise nécessiterait un mémoire dédié à cet effet. Le présent mémoire ne fait qu'effleurer le sujet en ayant pour seul but de comprendre les origines du sens de l'honneur japonais qui pousse la JAXA à adopter une attitude différente des autres agences spatiales.

Je me suis principalement basé pour cette annexe sur le livre intitulé « Le Chrysanthème et le Sabre³⁸⁸ » de Ruth BENEDICT. Ce livre malgré ses faiblesses (il ne respecte pas la règle fondamentale de tout anthropologue : l'observation des populations devant être étudiées *in situ*, l'auteure a dû se contenter d'interviews de soldats japonais capturés et de la population japonaise gardée dans des zones spécifiques aux États-Unis pendant la durée du second conflit mondial), a résisté à l'épreuve du temps. Il est toujours considéré par les japonais eux-mêmes comme un portrait plutôt fidèle décrivant assez bien la sensibilité japonaise. Le livre a été écrit en 1945 afin de permettre aux soldats américains de se comporter de manière adéquate avec la population japonaise sur l'archipel. Il traite des postulats sur base desquels les japonais mènent leur vie, chaque peuple a sa propre conception de la conduite de la vie, la conception japonaise diffère radicalement de la conception occidentale de par de multiples aspects mais le meilleur moyen de comprendre la notion de « dette morale » au Japon est étonnamment de la comparer à une dette financière en Occident.

Le tableau suivant est basé sur le livre mentionné ci-dessus³⁸⁹, traite des obligations et de la manière dont une personne rembourse sa dette morale à l'égard d'une autre personne :

Les obligations / La dette	Le remboursement de la dette (les agissements du débiteur)	
Obligations	Contrepartie des obligations / Dette remboursée en « accomplissant son <i>Gimu</i> ou son <i>Giri</i> »	
Le <i>On</i> ³⁹⁰	Le <i>Gimu</i> ³⁹¹	Le <i>Giri</i> ³⁹²
C'est l'obligation contractée passivement (on reçoit, on supporte un <i>On</i>).	<ul style="list-style-type: none"> Il s'agit de rembourser un bienfait (contracté d'office à la 	<ul style="list-style-type: none"> On peut rembourser la dette via un équivalent mathématique à la faveur reçue, le remboursement a une durée limitée.

³⁸⁸ Le sabre du Samuraï (*Katana*, 刀、かたな) est le symbole du courage au Japon. Source : BENEDICT Ruth, *Le Chrysanthème et le sabre*, Editions Philippe Picquier, 19 mai 1998, p. 41.

³⁸⁹ Sources : *Ibid.* pp. 139-140 / SAUSSE Frédéric, « Le Chrysanthème et le Sabre (Digest) - le Code d'honneur du Japon », Le journal de la Cité Internationale Universitaire de Paris, 3 mai 2016, disponible à l'adresse suivante : <http://saga6t.over-blog.com/2016/05/le-chrysantheme-et-le-sabre-digest-le-code-de-l-honneur-du-japon.html> (consultée le 20 août 2018).

³⁹⁰ *On* (恩、おん) signifie « obligation ».

³⁹¹ *Gimu* (義務、ぎむ) ou « remboursement de la dette » (en étant guidé par son propre coeur).

³⁹² *Giri* (義理、ぎり) ou « dette morale » étant soit une dette de gratitude (l'obligation -souvent contre son gré- de rembourser un bienfait), soit l'obligation de laver son nom (comparable à l'obligation similaire d'origine prussienne de laver son honneur, *die Ehre* signifie l'honneur en allemand). Le *Giri* s'oppose au *Ninjō* (人情、にんじょう) c.-à-d. à l'empathie. Le respect des obligations par le *Giri* -issu de la culture japonaise- est un sentiment « forcé », en conflit perpétuel avec le sentiment humain pouvant paraître plus « naturel », d'empathie envers autrui. *Giri* signifie aussi « belle-famille ». Tsuramoto TASHIRO compile les commentaires de son professeur Jōchō YAMAMOTO (ancien Samuraï devenu prêtre) entre 1709 et 1716 au sujet de son *hagakure* (葉隠、はがくれ) c.-à-d. le livre du Samuraï, une forme de traité sur le *Bushidō*. Il y est notamment mentionné que la frugalité traduit un « manque de sens du *Giri* », c.-à-d. « un manque de sens des obligations sociales et personnelles ». Ainsi il ajoute : « est-il besoin de préciser que le samuraï qui négligerait les obligations qu'il a envers les autres serait bas et vil ? ». Source : MISHIMA Yukio, *Le Japon moderne et l'éthique samouraï*, Gallimard, 22 mars 1985, p. 114. Le *Giri* (le devoir) doit l'emporter sur le *ninjō* (les sentiments), coûte que coûte. Source : PELLETIER Philippe, *La fascination du Japon - idées reçues sur l'archipel japonais*, 3^{ème} édition, Le Cavalier Bleu, 23 août 2018, p. 257.

	<p>naissance).</p> <ul style="list-style-type: none"> • On « accomplit son <i>Gimu</i> » en étant guidé par son propre cœur. • On ne pourra jamais le rembourser totalement car parmi les obligations il restera toujours quoique l'on fasse le <i>chū</i>, le <i>kō</i> et le <i>ninmu</i> (voir ci-dessous) 	<ul style="list-style-type: none"> • Si le remboursement n'a pas lieu au moment approprié alors le montant de la dette s'accroît au cours du temps (comme si des intérêts étaient dus). • Il s'agit d'agir contre son gré, soit que l'on ait reçu une faveur³⁹³, soit qu'il s'agisse de protéger sa réputation. Selon l'expression consacrée, on est « contraint par son <i>Giri</i> ». • Le <i>Giri</i> s'alourdit au fur et à mesure que l'on s'élève dans la hiérarchie sociale. Le fardeau, mais aussi la vertu car le <i>Giri</i> est une vertu, s'accroît³⁹⁴. • Un homme « qui ne connaît pas le <i>Giri</i> » est méprisé au Japon, cela témoigne d'une vie « misérable »³⁹⁵. Un homme se doit d'être respecté dans son environnement.
<ul style="list-style-type: none"> • Le <i>Ko on</i>³⁹⁶ : le <i>On</i> reçu de l'empereur 	<ul style="list-style-type: none"> • Le <i>Chū</i>³⁹⁷ : le devoir envers l'empereur³⁹⁸, la loi, le Japon. 	<ul style="list-style-type: none"> • Le « Giri envers le monde » : le devoir envers le suzerain, ceux envers les parents par alliance, ceux envers les personnes non-apparentées dont on a reçu un <i>on</i> (une faveur, un don en argent, ...), ceux envers les parents plus éloignés que ceux envers lesquels on doit le <i>Gimu</i>. C'est le fait de rembourser le <i>on</i> à ses congénères. Cela inclut le respect des obligations contractuelles.
<ul style="list-style-type: none"> • Le <i>Oya on</i>³⁹⁹ : le <i>On</i> reçu de ses parents directs. 	<ul style="list-style-type: none"> • Le <i>Kō</i>⁴⁰⁰ : le devoir envers les parents proches⁴⁰¹ (et 	<ul style="list-style-type: none"> • Le « Giri envers son propre nom » ou le « Giri en dehors du cercle du On » : c'est la version japonaise de l'honneur

³⁹³ Le *giri* prescrit impérativement l'abnégation totale envers son bienfaiteur surtout si l'on est son inférieur en termes d'ancienneté. L'obligation japonaise va si loin que, lorsqu'un haut fonctionnaire atteint le degré suprême de la hiérarchie, ses camarades de promotion démissionnent pour ne pas en être les subordonnés. *A fortiori* les autres plus âgés. Source : GRAVEREAU Jacques (Institut HEC-Eurasia), *Le Japon au XXème siècle*, Seuil, 2 avril 1993, p. 286.

³⁹⁴ Source : BENEDICT Ruth, *Le Chrysanthème et le sabre*, Editions Philippe Picquier, 19 mai 1998, p. 202.

³⁹⁵ Source : *Ibid.* p. 203. Dans le même ordre d'idées, dire d'un japonais adulte qu'il « ignore la honte » revient à dire qu'il a perdu tout sens des convenances. Quel paradoxe avec les enfants japonais, lesquels disent avec le sourire que « les japonais en général ignorent la honte, c'est précisément pourquoi ils sont si heureux ». Source : *Ibid.* p. 303.

³⁹⁶ *Ko-on* (古音、こおん) signifie « obligation envers l'ancien (l'empereur) ».

³⁹⁷ *Chū* (忠、ちゅう) signifie « loyauté, fidélité (envers l'empereur, le pays) ».

³⁹⁸ De nombreux pseudo-spécialistes du Japon en 1945 avaient cru à une résistance acharnée en cas d'invasion et au fait que le pays allait se livrer à des actes de sabotages une fois envahi. Cependant ils n'avaient pas compris le *Chū* en vertu duquel le Japon allait consacrer son énergie exclusivement à la reconstruction du pays dès lors que l'empereur le commanderait à son peuple. Ainsi toute résistance cessa sur le champ. Mais pour arriver à ce résultat il fallait que l'empereur soit détaché de tout pouvoir politique, il ne peut en aucun cas être tenu pour responsable des actes de ses ministres, ce qui est d'ailleurs inscrit dans la Constitution. Le fait qu'il descende de la déesse solaire importe moins que le fait qu'il soit le grand prêtre de la Nation auquel tout japonais puisse se référer. Au Japon le *Chū* (le remboursement de la dette envers l'empereur) prévaut sur l'amour de son pays. Source : BENEDICT Ruth, *Le Chrysanthème et le sabre*, Editions Philippe Picquier, 19 mai 1998, pp. 149-150 et 156.

³⁹⁹ *Oya on* (親恩、おやおん) signifie « obligation envers les parents ».

	indirectement envers les descendants).	allemand (<i>die Ehre</i>). C'est (1) le devoir « laver » sa réputation d'une insulte ou de l'accusation d'un échec, c'est le fait de garder son som et sa réputation vierges de toute accusation (bref c'est la vengeance ⁴⁰² cependant l'agression dans le cadre d'un « <i>Giri</i> envers son propre nom » ne sera jamais considérée comme telle), cela peut se manifester par la vengeance, le stoïcisme ou le sang-froid. C'est aussi (2) le devoir de ne reconnaître aucune faute ou ignorance dans le domaine professionnel ⁴⁰³ (cela fait partie des convenances professionnelles). C'est également (3) le devoir de respecter les convenances de la vie japonaise en général (observer les marques extérieures de respect, c.-à-d. l'étiquette même envers quelqu'un que l'on déteste cordialement -en ce compris envers ses supérieurs ⁴⁰⁴ -, ne pas vivre au-dessus de son rang social ⁴⁰⁵ , le devoir de gérer ses émotions là où elles seraient inappropriées).
<ul style="list-style-type: none"> Le Shi no on⁴⁰⁶ : le « On » reçu de ses professeurs 	<ul style="list-style-type: none"> Le Ninmu⁴⁰⁷ : le devoir envers son travail 	

⁴⁰⁰ *Kō* (孝、こう) signifie « piété filiale ».

⁴⁰¹ Au Japon les exigences envers la famille (et encore seulement les ancêtres récents, connus de leur vivant) prévalent sur celles de l'individu. C'est la solidarité dans la loyauté envers la famille. Source : BENEDICT Ruth, *Le Chrysanthème et le sabre*, Editions Philippe Picquier, 19 mai 1998, p. 75. Le proverbe asiatique envers les choses craintes comprend au Japon: les tremblements de terre, le tonnerre et le vieux (le chef de famille, le père). Cette crainte du père témoigne de l'importance du *Gimu*. Source : *Ibid.* p. 145.

⁴⁰² La vengeance satisfait le sens de la justice. Le sens de la vengeance est aussi exact que ses propres facultés mathématiques: on ne peut supporter l'idée d'avoir laissé quelque chose en suspens jusqu'à ce que les deux termes de l'équation soient égaux. La vengeance ne sous-entend nécessairement pas une forme d'agressivité envers autrui, il suffit parfois « simplement » d'accomplir ses rêves face à quelqu'un qui s'est moqué de ceux-ci. Sources : *Ibid.* p. 179 et p. 187.

⁴⁰³ Au Japon on ne reconnaît pas ses propres erreurs car notre propre dignité nous en empêche, de plus c'est contraire à l'étiquette (les règles de convenance). On ne peut admettre son ignorance en vertu du « *Giri* envers son propre nom ». Critiquer la compétence de quelqu'un revient à critiquer sa personne dès lors on ne dit pas à quelqu'un qu'il a échoué (même si c'est vrai). D'ailleurs au Japon, la compétition est vécue comme une agression car le perdant éprouve un véritable sentiment de honte [*haji* (恥、はじ) signifie « honte » ou « embarras » en japonais]. Le fait de travailler seul au contraire motive puisque l'on ne se bat que contre soi-même. A l'inverse des États-Unis, la compétition peut mener à la dépression. Source : *Ibid.* pp. 177-179.

⁴⁰⁴ Cependant la dette morale que l'on a envers son supérieur est plus facile à supporter si l'on suppose que ce dernier nous aime bien. Le *Ai* (愛、あい) dans ce contexte signifie « la bienveillance » d'un supérieur envers son subordonné. Mais le sens commun de ce terme est « l'amour ». Source : *Ibid.* p. 125.

⁴⁰⁵ La société japonaise est hiérarchisée et profondément inégalitaire. Le dogme du « chacun à sa place » consacre le principe d'inégalité. Ainsi le langage de courtoisie (via les formules de politesse) est différent selon l'interlocuteur. Source : *Ibid.* p. 67.

⁴⁰⁶ *Shi no on* (師の恩、しのおん) signifie « obligation envers son professeur ».

<p>Toutes les personnes supportant un <i>on</i> (donc endettée moralement) sont des <i>On jin</i>⁴⁰⁸ et les créanciers, les <i>hommes-on</i> du débiteur.</p>	<p>Le <i>Gimu</i> ne permet jamais de s'acquitter complètement de sa dette (contractée à la naissance).</p> <p>Il est impensable de ne pas s'acquitter de sa dette dont le <i>Gimu</i> est la contrepartie (remboursement des dettes à l'égard de l'empereur, à l'égard de sa propre famille proche⁴⁰⁹ ainsi que le devoir envers son travail).</p> <p>Le déshonneur peut mener ici à des mesures extrêmes telles que le</p>	<p>Ne pas s'acquitter de sa dette dont le « <i>Giri</i> envers le monde » est la contrepartie mène au déshonneur et oblige le débiteur à « présenter ses excuses au monde ».</p> <p>Ne pas s'acquitter de sa dette, dont le « <i>Giri</i> envers son propre nom » est la contrepartie mène au déshonneur et oblige le débiteur à réagir. Cependant pour éviter cela, il a le choix entre différentes options :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. L'agressivité envers autrui (la vengeance) 2. L'agressivité retournée contre soi-même <ul style="list-style-type: none"> • Soit sous forme de lassitude et d'ennui profond menant à l'apathie voire à la dépression⁴¹⁰ • Soit sous sa forme la plus extrême : le suicide⁴¹¹ 3. Le fait de canaliser son agressivité en inspirant le respect (en réalisant ses rêves par exemple si quelqu'un s'est moqué de ceux-ci). <p>Le déshonneur peut mener ici à des mesures extrêmes telles que le suicide</p>
--	---	--

⁴⁰⁷ Ninmu (任務、にんむ) signifie « fonction », « tâche », mais aussi « obligation envers son travail ».

⁴⁰⁸ *On jin* (恩人、おんじん) signifie « homme *on* » ou une personne redevable d'un *on* envers autrui.

⁴⁰⁹ Le *Chū* et le *Kō* sont partagés avec la Chine (ce sont d'ailleurs des mots chinois). Toutefois, la piété filiale au Japon ne joue qu'envers les aînés proches et vivants c-à-d les ancêtres directs. Source : BENEDICT Ruth, *Le Chrysanthème et le sabre*, Editions Philippe Picquier, 19 mai 1998, p. 145.

⁴¹⁰ Le fait de retourner l'agressivité contre soi-même permet d'éviter de la tourner vers autrui mais cela a un coût, cela peut mener à la dépression. Les japonais intériorisent leur peur d'être rejeté, ce qui mène à un nombre élevé de dépressions, la vie quotidienne mène à l'ennui mais heureusement la possibilité de réaliser un grand projet évite l'apathie. C'est surtout valable parmi les milieux cultivés, c'est le fameux naufrage psychique des intellectuels qui ne retournaient pas leur agressivité contre eux-même mais qui cherchaient dans les années 30 un grand dessein national afin de retourner leur agressivité envers l'extérieur (et ainsi éviter l'ennui). Mais une fois la guerre perdue un revirement d'humeur permit d'inspirer le respect, se montrer amical face aux troupes américaines permit de se tourner vers un grand projet et ainsi d'éviter l'ennui : la reconstruction du pays. Les japonais doivent inspirer le respect, peu importe le moyen pour y parvenir. Source : *Ibid.* pp. 194-198.

⁴¹¹ Sans vouloir vouer un culte exagéré au *Bushidō* (武士道、ぶしどう), le fameux « code d'honneur » davantage lié aux *Samurai* (侍、さむらい), « se faire *seppuku* » (切腹、せつぷく) c.-à-d. se suicider inspire encore à l'heure actuelle le respect au Japon puisqu'il permet de « laver son honneur ». Qu'il s'agisse du soldat refusant de se rendre à l'ennemi ou de fameux suicide des amants puisqu'ils ne peuvent vivre leur amour ensemble aux yeux de tous [le fameux *Shinjū* (心中、しんじゅう) à l'époque Edo (+1600 à +1868) tel que brillamment illustré par l'œuvre intitulée *Sonezaki Shinjū* (la mort des amants de Sonezaki) de Mozaemon CHIKAMATSU (de son nom originel Nobumori SUGIMORI) dans le cadre du *Bunraku* (文楽、ぶんらく ou théâtre de marionnettes)]. Sources : *Ibid.* p. 192 / Uliège : « Initiation à la littérature japonaise » - Mme Kanako Goto (2017-2018) : <https://www.programmes.uliege.be/cocoon/cours/ASIE0010-1.html>. D'une certaine façon, Le suicide japonais est assez proche du suicide prussien lorsque l'on laissait à un officier un revolver et de l'alcool sur une table lui faisant comprendre que sa disparition serait honorable. Source : *Ibid.* p. 194.

	suicide (afin de recouvrer l'honneur).	(afin de recouvrer l'honneur). Mais dans un cadre professionnel, il peut s'agir de manière moins tragique de présenter ses excuses si l'on veut reconnaître son propre échec (cette reconnaissance est normalement contraire au « <i>Giri</i> envers son propre nom »).
--	---	--

Le *Gimu*

- Le père décide de ce qui est bon pour les enfants⁴¹². Il veille à ce que les sacrifices nécessaires soient faits par ceux-ci. Le frère aîné décide de ce qui est bon pour les frères cadets. Il est impensable de ne pas respecter les prescrits de l'aîné car ce respect est imposé par le *Kō* (c.-à-d. la piété filiale).
- Lors d'un mariage arrangé, le jeune homme doit respecter le choix de ses parents (en vertu du *Kō*) même s'il en aime une autre.
- Si un fils meurt, le fait d'assister sa veuve est un *Gimu* ; par contre, assister sa nièce est un *Giri* puisque le lien de parenté est plus éloigné⁴¹³.

Le « *Giri* envers le monde »

- Le Japon ne sépare pas les notions de gratitude (le « *Giri* envers le monde ») et de vengeance (le « *Giri* envers son propre nom ») comme le fait l'Occident.
- Il ne viendrait pas à l'idée d'un japonais de ne pas rembourser une dette d'argent.
- Le « *Giri* envers le monde » se manifeste dans le cadre (1) des rapports souvent tendus entre la jeune mariée et sa belle-mère⁴¹⁴, la jeune mariée devant obéir à cette dernière (c'est le devoir d'obéissance envers les parents par alliance). (2) Lors d'un mariage arrangé, le jeune homme doit prêter de l'argent à sa belle-famille si cette dernière est en détresse. (3) Il existe aussi le cas des « maris adoptés » : lorsqu'une famille n'a que des filles, elle obtient un mari en vertu d'un contrat signé entre deux familles. Le mari renonce à son nom de famille (il prend celui de la famille de l'épouse) ainsi qu'à son propre *Gimu* envers sa famille d'origine. Le prix payé est très lourd, il mène à de nombreux ressentiments envers sa nouvelle famille. Le « *Giri* envers le monde » comprend ainsi également la notion de respect d'un contrat.

Le « *Giri* envers son propre nom »

- Le « *Giri* envers son propre nom » peut se manifester tant par la loyauté que par la trahison⁴¹⁵. En effet, un homme insulté (même par son supérieur hiérarchique direct) devient rebelle car son *Giri* le lui commande. On peut dans le même esprit se venger de quelqu'un qui avait raison alors que l'on avait tort soi-même... Toujours est-il que, quand les nippons se sentent humiliés, ils font de la vengeance une vertu⁴¹⁶.
- Pourquoi les japonais sont-ils polis à l'extrême ?

⁴¹² Cette notion de piété filiale est partagée avec la Chine. *Source* : *Ibid.* p. 68.

⁴¹³ *Source* : *Ibid.* p. 146.

⁴¹⁴ En japonais le beau-père est le « père en *Giri* » (*giri no otōsan*, ぎりのおとうさん) et la belle-mère la « mère en *Giri* » (*giri no okāsan*, ぎりのおかあさん). *Source* : *Ibid.* p. 168 / Cours Uliège « Langue Japonaise I (niveau débutant) » - Mr Andreas Thele (2018-2019) : <https://www.programmes.uliege.be/cocoon/20182019/cours/ASIE0012-2.html>.

⁴¹⁵ *Source* : *Ibid.* p. 190.

⁴¹⁶ *Source* : *Ibid.* p. 342.

Afin d'éviter de se retrouver dans une situation dans laquelle il serait nécessaire de recourir au « *Giri* envers son propre nom »⁴¹⁷, bref pour avoir le moins souvent possible à « laver son nom ».

- Le « *Giri* envers son propre nom » n'existe pas en Chine, car une telle sensibilité aux insultes est jugée ridicule, elle serait la caractéristique de gens « de petite envergure morale »⁴¹⁸.
- A l'âge de 10 ans, les garçons apprennent le « *Giri* envers le monde », puis bien plus tard le « *Giri* envers son propre nom » via la discipline au collège, puis ultérieurement à l'armée⁴¹⁹. D'ailleurs un soldat ne peut faire appel à un officier pour gérer une querelle, il doit pourvoir se débrouiller seul pour « éprouver sa trempe », il fera tout pour se venger de son persécuteur⁴²⁰ et n'assumera pas sa rancœur envers le contingent suivant (en tous cas moins que dans d'autres armées, ce qui fait de l'armée japonaise une armée bien spécifique). Un homme ainsi « animalisé » peut devenir un véritable tortionnaire...
- Le « *Bushidō*⁴²¹ » ou code d'honneur du samurai comporte sept vertus dont l'honneur. L'honneur se réfère précisément au « *Giri* envers son propre nom » : « l'honneur se conserve et se transmet par le nom, qui devient pour le samurai un habitacle. Une offense à ce nom est une offense à la dignité de l'homme qui le porte ». Une des sources du « *bushidō* » est le bouddhisme, et particulièrement le bouddhisme zen.

Les effets pervers de l'obligation de respecter les obligations morales

- Dans le cadre du « *Giri* envers le monde », une belle-fille devant obéir à sa belle-mère accumulera de gros ressentiments qui se manifesteront à l'encontre de sa future belle-fille lorsqu'elle sera à son tour devenue belle-mère⁴²².
- Un « mari adopté » acceptera mal le fait de perdre son nom et donc son *Gimu* envers sa famille d'origine.
- Les japonais intériorisent la peur d'être rejeté (insultes ou échec), dès lors ils préféreront retourner leur agressivité contre eux-mêmes, ce qui peut mener à la dépression. En outre, de par la peur de l'échec, les japonais sont plus stimulés par la lutte contre eux-même que contre autrui, dès lors ils commettent plus de fautes dans le cadre d'un contexte de compétition sociale⁴²³. Cependant cette étude date de 1945, les japonais ont largement prouvé depuis lors qu'ils étaient capables d'assurer le leadership technologique dans un environnement concurrentiel.
- Le « dilemme de la vertu »⁴²⁴ est la difficulté d'imaginer être à nouveau capable de respecter le code de conduite japonais en ayant goûté à un niveau de rigidité moins élevé (en ayant par

⁴¹⁷ Source : *Ibid.* p 184.

⁴¹⁸ Source : *Ibid.* p 172.

⁴¹⁹ Source : *Ibid.* pp. 310-312.

⁴²⁰ Cela peut prendre des années s'il le faut. Ainsi la famille du persécuté peut s'arranger pour faire perdre son emploi à l'ancien persécuté plus de dix ans après les faits. Source : *Ibid.* p 310.

⁴²¹ *Bushidō* (武士道、ぶしどう) signifie code d'honneur. C'est une philosophie morale et martiale. Les sept vertus sont les suivantes : (1) la rectitude ou la justice, (2) le courage, l'esprit d'audace et la maîtrise de soi, (3) la bienveillance et la compassion, (4) la politesse, (5) la véracité et la sincérité, (6) l'honneur et (7) le devoir de loyauté. Source : IZANŌ Nitobe, *Bushidō : l'âme du Japon*, Budo éditions, 25 mai 2009, 190 p. (première parution en 1900). Ceci étant dit ces valeurs ne pèsent pas lourd lorsqu'il faut choisir son camp, elles sont secondaires face à l'intérêt de sa propre famille, la défense de ses terres et la renommée. De plus de nombreux historiens japonais pensent que les valeurs des *samourai* ont été empruntées à celles de leurs tout premiers adversaires, des chefs rebelles tel Abe no Sadatō considéré comme un héros guerrier par les *samurai* de la région du Kantō. Source : SOUVRI Pierre-François : *Nouvelle histoire du Japon*, Editions Perrin, 2 septembre 2010, p. 207.

⁴²² Source : BENEDICT Ruth, *Le Chrysanthème et le sabre*, Editions Philippe Picquier, 19 mai 1998, p 168.

⁴²³ Source : *Ibid.* p 179.

⁴²⁴ Source : *Ibid.* p. 257.

exemple vécu en dehors du Japon). Mlle Mishima vécut aux États-Unis, ce qui la frappa c'est que son hyper-sensibilité typiquement japonaise ne lui servait à rien, c'est comme si elle était « une championne de tennis jouant dans un championnat de cricket » comme elle le mentionne dans son autobiographie⁴²⁵. Son degré de familiarité étant tué dans l'œuf, lui causa un véritable handicap face à la familiarité américaine. Les chinois aux USA s'en sortaient bien mieux de par leur degré élevé de sociabilité. L'éducation japonaise ne rend pas nécessairement service à la population, d'autant plus que le système de valeur nippon ne s'exporte pas. Les japonais croyaient d'ailleurs naïvement pendant la seconde guerre mondiale que leur système moral serait adopté par les pays conquis dans le cadre de leur « Sphère de Grande Coprosperité Asiatique » (étant entendu que le Japon était évidemment situé au niveau hiérarchique le plus élevé dans la sphère en question)⁴²⁶.

- Les pressions sociales exercées au Japon (dont la peur d'être « ostracisé par le monde ») exigent trop de l'individu (lequel occupe la triple position de représentant d'une famille, d'une organisation et d'une nation, avec les obligations qui en découlent). Même si les japonais ont prouvé leur capacité de se plier à la discipline de soi (voir ci-dessous), ils ont trop à réprimer pour rester indemnes⁴²⁷.

Comment acquérir la discipline morale permettant de respecter ses obligations ?

- En appliquant une technique d'entraînement spécifique à la discipline morale (cette discipline étant le *Shūyō*⁴²⁸), menant *in fine* à l'excellence. Le japonais ordinaire recherche l'excellence. Le *Muga*⁴²⁹ est un état permettant l'absence de toute interférence entre la volonté de l'homme et ses actes, dès lors permettant l'excellence dans l'action. Ceci figure dans une version spécifiquement nipponne du bouddhisme Zen⁴³⁰.
 - Le *Yoga* permet certes d'atteindre le *Nirvana* (en se dégageant du cycle de la réincarnation) par l'absence de désirs, mais le bouddhisme japonais ne croit pas en la réincarnation et ne fait aucunement la promotion de l'absence de désirs (bien au contraire puisque le plaisir des sens dont celui de la chair fait partie de la sagesse).
 - Le *Yoga* prétend pouvoir donner des dons surnaturels via la méditation, ce que réfutent les japonais. Au Japon, le *Yoga* est « juste » une technique de perfectionnement personnel visant à maîtriser les sens (le goût, le toucher, la vue, l'ouïe et l'esprit⁴³¹) afin d'atteindre l'excellence. Le *Yoga* permet d'avoir la capacité d'affronter n'importe quelle situation avec la dépense d'énergie juste nécessaire pour y arriver tout en assurant le contrôle de l'esprit. Depuis le XII^{ème} siècle, le bouddhisme Zen a permis à des guerriers et même ultérieurement à des étudiants universitaires de se préparer à leurs tâches et d'atteindre leurs objectifs⁴³². Le bouddhisme Zen applique la notion de *Jiriki*⁴³³ (le secours venant de soi-même) et non celle de *Tariki*⁴³⁴ (le secours venant d'une divinité

⁴²⁵ Voir l'autobiographie de Mlle Mishima intitulée « Mon île étroite ». *Source* : *Ibid.* p. 257.

⁴²⁶ *Source* : *Ibid.* p. 255.

⁴²⁷ *Source* : *Ibid.* p. 351.

⁴²⁸ *Shūyō* (修養、しゅうよう) signifie « discipline de soi » ou « entraînement mental ». « Le *Shūyō* polit le corps et enlève la rouille ». *Source* : *Ibid.* p. 260.

⁴²⁹ *Muga* (無我、むが) signifie « effacement de soi ».

⁴³⁰ *Source* : *Ibid.* pp. 267-270.

⁴³¹ Il faut par exemple être capable d'identifier des bruits de pas ou de reconnaître des odeurs alors que l'on est en transe, ou à l'inverse poursuivre sa méditation lorsque l'on est nu sous une cascade d'eau glacée. *Source* : *Ibid.* p. 272 et p. 276.

⁴³² L'auteure, Madame Ruth BENEDICT mentionne le texte « La protection de l'État par la propagation du Zen » rédigé par Ei-Sai au XII^{ème} siècle. *Source* : *Ibid.* p. 274.

⁴³³ *Jiriki* (自力、じりき) signifie « sa propre force ».

⁴³⁴ *Tariki* (他力、たりき) signifie « l'aide extérieure c.-à-d. le sauvetage par la foi ».

bienveillante) : la force potentielle réside exclusivement en soi-même (ce précepte fut d'ailleurs appliqué par les Samuraïs).

- La mythologie japonaise ne parle pas de la vie dans l'au-delà, et au Japon tout le monde devient Bouddha lorsqu'il meurt.
- Au Japon, à l'inverse de l'Inde, on ne peut fusionner et ne faire qu'un avec le divin. En bref, les japonais possèdent les techniques de mysticisme sans le mysticisme⁴³⁵.

La gestion de ses obligations : le rôle de l'éducation japonaise

- Le devoir de remplir ses obligations varie au cours du temps, cela concerne principalement les adultes sauf après 60 ans. Les bébés japonais ne sont pas concernés non plus⁴³⁶. En Occident c'est l'inverse, la discipline est intransigeante à la petite enfance, elle se relâche lorsque l'on devient autonome financièrement et que l'on a fondé son propre foyer pour revenir dès que l'on redevient dépendant en vieillissant. Le rouge est ainsi la couleur des robes des petites filles, couleur interdite aux femmes, sauf lorsqu'elles atteignent l'âge de soixante ans c.-à-d. le début de leur seconde vie⁴³⁷, à ce moment, elles peuvent même se permettre d'envoyer promener les tabous⁴³⁸.
- L'enfant ne peut manifester que du respect envers son père, car il représente son modèle en termes de position hiérarchique. Si l'enfant est agité voire même violent, cela ne peut se produire qu'envers la mère⁴³⁹. Les enfants aînés sont d'ailleurs coresponsables de l'éducation de leurs frères et sœurs plus jeunes⁴⁴⁰.
- La première chose que l'on enseigne aux enfants à l'école est d'agir en conformité avec le « Giri envers le monde »⁴⁴¹. Ainsi, bien qu'il ne puisse pas encore connaître la honte en tant que telle, il va devoir s'entraîner à éviter toute situation dans laquelle il pourrait se sentir embarrassé⁴⁴².
- Les enfants n'apprennent pas les habitudes convenables seulement au moment où ils auront à les pratiquer, car ce sera trop tard. Dès lors, les gestes sont répétés presque mécaniquement jusqu'à ce qu'ils deviennent automatiques. Ainsi, une fille mariée à l'âge de 14 ans par ses parents doit servir l'assiette de son mari pourtant absent avant la sienne, juste pour s'entraîner à devenir une bonne épouse⁴⁴³.
- L'adolescence n'est pas une période de révolte contre l'autorité parentale comme en Occident. Les adolescents deviennent les représentants responsables et obéissants de leur famille sous le regard d'un monde qui les juge⁴⁴⁴. Le père est un symbole désincarné de la hiérarchie et de

⁴³⁵ Source : *Ibid.* p. 273. Madame Ruth BENEDICT se réfère dans son ouvrage à Nugiya KAITEN, *The religion of the Samurai*, London, 1913, p. 197.

⁴³⁶ Source : *Ibid.* p. 286.

⁴³⁷ Source : *Ibid.* p. 313.

⁴³⁸ Source : *Ibid.* p. 319.

⁴³⁹ Mais un garçon n'est pas insupportable impunément au Japon. Si nécessaire on inflige une brûlure à l'enfant, il s'agit d'un petit cône de poudre nommée Moxa (Mogusa, 艾、もぐさ), la marque est indélébile (on peut renouveler l'opération mais en général une fois suffit). Mais on privilégiera d'abord la méthode douce (l'envoi de l'enfant -via un trajet assez long pour le calmer- auprès d'un prêtre dans un temple bouddhiste, le prêtre écoute l'enfant puis « chasse son mauvais comportement via un rituel au moyen d'un ver ou d'un insecte »). Source : *Ibid.* p. 299. Le châtiment corporel n'est pas de mise pour les filles, les parents se contentent d'attendre inébranlablement que leur fille vive en conformité avec ce qui est attendu d'elle. Source : *Ibid.* p. 314.

⁴⁴⁰ Source : *Ibid.* p. 297.

⁴⁴¹ Source : *Ibid.* p. 306.

⁴⁴² Source : *Ibid.* p. 305.

⁴⁴³ Source : *Ibid.* p. 315.

⁴⁴⁴ Source : *Ibid.* p. 336.

conduite à adopter dans la vie⁴⁴⁵, bref un modèle. Le père n'a pas besoin d'être d'un autoritarisme sans nuance, puisque son enfant en général l'admire, il y a une profonde camaraderie intergénérationnelle.

- Par contre, ce qui n'est pas enseigné par les aînés, c'est le comportement amoureux, c.-à-d. comment courtiser⁴⁴⁶. Le comportement amoureux est exclu du foyer où ils ont été élevés. De plus, dès l'âge de 10 ans les garçons et les filles sont séparés à l'école. Puis au collège un garçon ne peut fréquenter les filles, au contraire se montrer bourru vis-à-vis d'une fille séduisante est bien vu. Ceci pourrait expliquer le nombre élevé de célibataires au Japon. En ce qui concerne l'éducation sexuelle, les familles aisées vont jusqu'à fournir un « manuel de l'épousée » (voire même la fréquentation d'une *Geisha*⁴⁴⁷ pour faire leur éducation dans les familles extrêmement aisées) car les hommes ont peur d'être gauche en ce domaine⁴⁴⁸. Au Japon, le sexe comme le jardinage s'apprend dans les livres⁴⁴⁹, bref sans la tutelle des adultes (le jardinage s'apprend en vieillissant). Après le mariage, un homme peut prendre son plaisir ailleurs que chez lui sans se cacher le moins du monde, mais ce n'est pas vrai pour sa femme qui a le devoir de lui être fidèle. La vie sexuelle au Japon ne fait pas partie des choses sérieuses. Les autres devoirs ont nettement plus d'importance.
- Aucune règle n'impose à un homme de bien tenir l'alcool. Au contraire, l'ivresse procure une certaine satisfaction, les hommes sont rarement agressifs lorsqu'ils sont sous l'influence de l'alcool car un japonais ne peut en aucun cas, être imprévisible dans sa conduite ordinaire⁴⁵⁰. L'ivresse comme le sexe font partie des rares « espaces de liberté » de la vie⁴⁵¹.
- L'éducation japonaise est souple à la petite enfance⁴⁵² pour devenir très sévère à l'âge adulte (donc dans la force de l'âge, c.-à-d. lorsque la honte devient le fondement même de la vertu), c'est là que le poids des obligations est le plus lourd pour redevenir « léger comme une plume » après 60 ans. L'enfance et la vieillesse sont des espaces de liberté au Japon⁴⁵³. Depuis l'enfance, la menace d'être « rejeté par le monde » a été inculquée à chaque japonais, ce dernier est dès lors allergique à toute forme de ridicule et de rejet⁴⁵⁴. Les obligations ne sont pas nécessairement vécues comme des privations, ainsi l'estime de soi (le *Jichō*⁴⁵⁵) par la retenue en termes de comportement permet de se valoriser⁴⁵⁶. Il existe deux conceptions antagonistes de la société, celle privilégiant l'individu et celle privilégiant l'harmonie au sein du groupe (laquelle primant sur l'opinion individuelle, la recherche de l'harmonie étant alors considérée comme une vertu)⁴⁵⁷. Préservation de l'équilibre (l'harmonie), retenue et souci de ne pas heurter les

⁴⁴⁵ Source : *Ibid.*

⁴⁴⁶ Source : *Ibid.* p. 315.

⁴⁴⁷ *Geisha* (芸者、げいしや) signifie littéralement « une personne de l'art ». C'est une artiste maîtrisant les arts traditionnels japonais dans le cadre de prestations de divertissement pour une clientèle aisée. Une *geisha* n'est en aucun cas une prostituée.

⁴⁴⁸ Source : *Ibid.* p. 317.

⁴⁴⁹ Source : *Ibid.*

⁴⁵⁰ Source : *Ibid.* p. 320.

⁴⁵¹ Source : *Ibid.*

⁴⁵² Mais après six ou sept ans l'enfant assume la responsabilité d'être circonspect et d'être « averti de la honte », en cas d'échec leur famille pourra se retourner contre eux. Source : *Ibid.* p. 321.

⁴⁵³ Source : *Ibid.* p. 287.

⁴⁵⁴ Source : *Ibid.* p. 322.

⁴⁵⁵ *Jichō* (自重、じちょう) signifie « estime de soi ».

⁴⁵⁶ Source : *Ibid.* p. 324.

⁴⁵⁷ Il est assez ironique de constater que la société japonaise qui privilégie tant l'harmonie au sein du groupe et la convivialité aux dépens de l'épanouissement individuel soit en fait la plus individualiste dans le sens où de nombreuses personnes sont seules. La vraie question est celle de l'harmonie de la société nipponne vu l'isolement d'une grande partie de ses membres. Source: PARMENTIER Agathe, *Pourquoi Tokyo ?*, Pocket, 25 janvier 2018, p.85 et pp. 114-115.

sentiments d'autrui, voilà la Sainte-Trinité de la communication à la japonaise, enseignée depuis la plus tendre enfance et exigée à l'âge adulte⁴⁵⁸.

- L'éducation japonaise est discontinue car une grande liberté est offerte dans l'enfance (les garçons peuvent laisser libre cours à leur agressivité), puis celle-ci cesse progressivement du collège à l'âge adulte, pour réapparaître à soixante ans. Cela crée donc à l'âge adulte une personnalité duale⁴⁵⁹ en effet, ils ont à la fois un désir de spontanéité issu de la petite enfance et l'obligation de respecter des obligations à l'âge adulte pour éviter la honte (ce faisant, ils doivent renoncer à l'âge adulte à des plaisirs auxquels ils avaient pris goût lors de l'enfance, ils doivent sacrifier leurs aspirations personnelles à la prévisibilité du collectif). Ce dualisme s'exprime par exemple par le fait que même si les japonais sont très conservateurs, ils sont aussi attirés par la nouveauté et peuvent être extrêmement innovants. Cependant, ce dualisme peut avoir des effets pervers, par exemple le rejet total de la spontanéité ou le fait d'être effrayé par l'imprévu.
- Le « moi » japonais est un idéal à atteindre sans aucune certitude quant au résultat⁴⁶⁰. Ce « moi » n'est pas inné, il se construit à partir de l'extérieur (par exemple : l'importance du respect du collectif⁴⁶¹). L'âme japonaise reflète donc une pensée idéaliste et par conséquent un comportement qui va de pair avec cette pensée. Il convient également de noter que si la définition du « moi » entre la pensée occidentale et la pensée japonaise diffère, il existe une autre différence majeure : le profond respect de la nature (en ce compris les animaux, les plantes et les minéraux) qu'éprouvent les japonais⁴⁶², même si Montaigne (le philosophe français de la Renaissance) se sentait tout compte fait assez proche de la philosophie de l'Asie orientale sur ce point⁴⁶³.

⁴⁵⁸ Source : *Ibid.* p 85.

⁴⁵⁹ Source : BENEDICT Ruth, *Le Chrysanthème et le sabre*, Editions Philippe Picquier, 19 mai 1998, pp. 326-327.

⁴⁶⁰ Source : THELE Andreas, « Les milieux intellectuels au Japon au temps de Descartes », in THELE Andreas, TAKESHI Morisato, TAKAKO Tanigawa, YOSHINORI Tsuzaki, *Fortune de la philosophie cartésienne au Japon*, Rencontres n° 300, Classiques Garnier, 2017, p. 17.

⁴⁶¹ « Et il faut toujours préférer les intérêts du tout, dont on est partie, à ceux de sa personne en particulier ». Ce texte tiré d'une lettre écrite par Descartes (le philosophe, mathématicien et physicien français) à Elisabeth de Bohême le 15 septembre 1645 montre d'étranges similitudes entre d'une part la pensée cartésienne occidentale et d'autre part la pensée japonaise (influencée par le confucianisme et le taoïsme). Source : *Ibid.* p 24. Toutefois la ressemblance s'arrête là puisque Descartes continue son texte ainsi «... mais avec mesure car on aurait tort de s'exposer à un grand mal pour procurer seulement un petit bien à ses parents ou son pays...», ce qui va à l'encontre de la philosophie japonaise qui impose les obligations de *Kō* (le devoir envers ses parents proches) et de *Chū* (le devoir envers l'empereur et le pays). Source : *Ibid.* / Au Japon la notion occidentale de libre arbitre individuel n'existe pas en tant que telle. Elle est remplacée par la notion de latitude d'action individuelle au sein d'un groupe qu'il s'agisse d'une famille ou d'une entreprise. La liberté « à la japonaise » se traduit donc par la participation individuelle à l'harmonie d'un collectif. Source : GRAVEREAU Jacques (Institut HEC-Eurasia), *Le Japon au XXème siècle*, Seuil, 2 avril 1993, p. 132.

⁴⁶² C'est une attitude envers le monde tout-à-fait contraire à la conception mécanique de Descartes, qui considère les animaux comme des machines, dépourvues d'âmes, et qui affirme que « faire crier un animal n'est pas différent de faire émettre des sons d'un orgue ». Source : THELE Andreas, « Les milieux intellectuels au Japon au temps de Descartes », in THELE Andreas, TAKESHI Morisato, TAKAKO Tanigawa, YOSHINORI Tsuzaki, *Fortune de la philosophie cartésienne au Japon*, Rencontres n° 300, Classiques Garnier, 2017, p 25.

⁴⁶³ Montaigne en prenant plaisir à jouer avec son chat, se demande si c'est lui qui joue avec le chat ou si c'est son chat qui joue avec lui. On peut rapprocher cette attitude à la célèbre anecdote de Zhuangzi 莊子 (le philosophe chinois daoïste), qui en rêvant, croit être un papillon et se demande s'il était Zhuangzi qui rêvait d'être un papillon ou s'il était en réalité un papillon qui rêvait d'être Zhuangzi. Source : *Ibid.* p 26.

Conclusions

- Le remboursement de la dette (via le *Gimu* ou le *Giri*) prévaut sur la bienveillance (et par extension l'affection ou l'amour) (le *Jin*⁴⁶⁴).
- Le remboursement de la dette via le *Gimu* est dû quoi qu'il arrive⁴⁶⁵.
- Le remboursement du *on* (de la dette) est une **vertu**. Ne pas être vertueux mène au **déshonneur** (à l'obligation de présenter ses excuses au monde lorsque l'on parle du « Giri envers le monde », voire dans des cas extrêmes au suicide lorsque l'on parle du « Giri envers son propre nom » ou du *Gimu* lorsque par exemple dans ce dernier cas lorsque le *Chū* n'est pas respecté⁴⁶⁶).
- Toute manifestation de générosité met la personne mal à l'aise, car elle fait de celle qui la reçoit un débiteur. Toutefois ceci n'est pas en contradiction avec la grande solidarité collective qui règne au Japon lors de la survenance de désastres naturels.
- Cette importance de l'apurement de la dette morale (en ce compris le respect de l'étiquette) ne semble pas étonnant si l'on sait qu'au Japon, dans cette société extrêmement hiérarchisée⁴⁶⁷ prévaut la notion de la supériorité de l'esprit sur les circonstances matérielles⁴⁶⁸.
- Le respect de ses obligations prévaut sur le bonheur (et la recherche de plaisirs personnels), lequel n'est qu'une détente à laquelle on s'adonne quand on a le temps⁴⁶⁹. La recherche du bonheur est considérée comme une doctrine immorale. La morale au Japon n'est pas liée à un combat entre le bien et le mal comme en Occident. Le bien et le mal ne s'affrontent pas, on parle de l'âme douce et de l'âme dure qui coexistent. La nature humaine au Japon est considérée comme naturellement bonne et tout homme est un Bouddha potentiel si « les règles de la vertu peuvent se lire dans son âme innocente »⁴⁷⁰ (la vertu se mesure à la force d'âme c.-à-d. au contrôle de l'esprit sur la matière).
- Les japonais ont le devoir de faire un choix entre différentes obligations s'ils ne se sentent pas capable de s'acquitter de toutes⁴⁷¹.
 - Respecter une obligation peut donc signifier en bafouer une autre, il convient donc de hiérarchiser les obligations à respecter. La vie est un conflit perpétuel entre le *Giri* et le *ninjō* (les émotions humaines), entre le *Giri* et le *Gimu*, entre le *Chū* et le *Kō*, entre le *Kō* et le *Jin* (le cercle des émotions : ainsi un homme se doit de divorcer si ses parents le lui demandent en vertu du *Kō* même s'il aime sa femme)⁴⁷².
 - Afin de guider les japonais dans la hiérarchisation des obligations, il existe « les saintes écritures »⁴⁷³, c'est le rescrit impérial de l'empereur Meiji du 4 janvier 1882 aux soldats et

⁴⁶⁴ *Jin* (仁、じん) signifie « bienveillance, humanité ».

⁴⁶⁵ En Chine il était du devoir du peuple de se révolter contre son suzerain si ce dernier n'était pas bienveillant. Cette condition ne s'appliqua pas au Japon. Le remboursement de la dette via le *Gimu* est du inconditionnellement. Source : BENEDICT Ruth, *Le Chrysanthème et le sabre*, Editions Philippe Picquier, 19 mai 1998, p. 138. Les chinois avaient un code moral afin de promouvoir le comportement bienveillant, cet aspect particulier n'existe pas au Japon. Le shintoïste japonais Matōri au 18^{ème} siècle notait que « la nature inférieure des chinois nécessitait pareil moyen pour pouvoir se dominer ». Source : *Ibid.* p. 219.

⁴⁶⁶ Source : *Ibid.* p. 177.

⁴⁶⁷ Le respect de la hiérarchie implique le principe du « Chacun à sa place ». Source : *Ibid.* p. 72, p. 101 et p. 114.

⁴⁶⁸ Source : *Ibid.* p. 42.

⁴⁶⁹ D'ailleurs renoncer aux plaisirs est une vertu, c'est une force d'âme. Ainsi il est normal de ne pas avoir de *happy end* dans les spectacles japonais (théâtre, cinéma, ...). Source : *Ibid.* p. 220. Est également une vertu le fait de ne pas manger, ne pas dormir et ne pas avoir de bain chaud. Ainsi pendant la guerre Radio-Tokyo incitait les gens affamés à faire de la gymnastique censée leur donner de la force. Source : *Ibid.* p. 210.

⁴⁷⁰ Source : *Ibid.* pp. 218-220.

⁴⁷¹ Source : *Ibid.* p. 228.

⁴⁷² Source : *Ibid.* p. 238.

⁴⁷³ Source : *Ibid.* p. 239.

aux marins. Ce sont des réels textes sacrés auxquels aucune religion japonaise ne fait référence.

- Le texte met en évidence le respect du *Chū* comme loi majeure (*Taisetsu*⁴⁷⁴). Le respect envers la parole donnée dans ses rapports personnels (c.-à-d. le « Giri envers le monde ») ne faisant partie que d'une loi mineure. Respecter la loi majeure, c'est s'assurer de rester vertueux. La vertu est l'accomplissement du *Gimu* : « ne pas agir avec droiture par la faute du Giri est intolérable ».
- Les cinq commandements du texte sacré sont les suivants :
 - a. La vertu suprême est le *Chū* ;
 - b. « Respectez les ordres mais traitez les inférieurs avec des égards » ;
 - c. La valeur signifie ceci : « ne jamais craindre un supérieur et ne jamais mépriser un inférieur »
 - d. Le texte met en garde contre le fait de devoir tenir parole dans le cadre de relations privées
 - e. Le texte exhorte à la frugalité : « faites de la simplicité votre but »
- Ces cinq préceptes portent le nom de « la Grande Voie du Ciel et de la terre », ou de « loi universelle de l'humanité ». L'âme de ces préceptes est la sincérité dans le sens japonais (le *Makoto*⁴⁷⁵) et non dans le sens occidental. Il s'agit du « Giri cité en exemple » ou du « Giri le plus sincère », c.à.d. le zèle à suivre le respect le plus scrupuleux du code et de l'âme japonaise. Ce n'est pas l'authenticité intérieure (ou les bonnes intentions) par laquelle un homme agit avec ses impulsions intimes (le sens occidental du mot « sincérité »).
- Pour s'acquitter du devoir de remplir leurs obligations, les japonais s'imposent des techniques de maîtrise de soi issue de leur propre version du bouddhisme Zen. Cette technique d'entraînement spécifique (le *Yoga*) de la discipline de soi (le *Shūyō*) mène à l'excellence. Cet entraînement est physique et/ou mental. A l'époque des Samuraïs on disait qu'un escrimeur devait non seulement être capable de manier l'épée mais surtout « être Muga » (c.-à-d. être capable d'éliminer tout obstacle entre sa volonté et ses actes tout en ayant un contrôle total de son esprit⁴⁷⁶, cela se produit lorsque l'on arrive à éliminer son « moi observateur » c.-à-d. sa

⁴⁷⁴ *Taisetsu* (大切、たいせつ) signifie « important, de valeur » et dans le domaine juridique ou philosophique : « loi majeure ».

⁴⁷⁵ *Makoto* (誠、まこと) signifie « de bonne foi ».

⁴⁷⁶ L'entraînement physique dans ce cas était de pouvoir se sentir aussi bien à l'aise à grande hauteur sur une colonne de quatre pieds que dans une cour. L'entraînement mental consiste à méditer à propos de questions philosophiques appelées *kōan* (公案、こうあん) (par exemple : « toutes choses retournent à l'unité, où cette dernière se retourne-t-elle ? », ou bien encore : « qui porte sur ses épaules son propre corps sans vie ? »). La réflexion intensive avec fruit au sujet d'un *kōan* ou l'aptitude à pratiquer des exercices physiques passe par la disparition du « moi observateur » au profit exclusif du « moi acteur », désormais l'unique composante de la volonté de l'homme (alors qu'auparavant les deux « moi » coexistaient). Ceci permet à l'homme de ne dépenser que la quantité nécessaire d'effort pour atteindre son but. Il existerait 1.700 *kōan* (dans les livres monastiques du bouddhisme Zen), il faut parfois sept années pour fournir une réflexion mûrie au sujet d'un seul d'entre eux. Ces *kōan* ont existé en Chine au XII et XIII^{ème} siècle mais ils ont disparu tandis qu'ils ont subsisté au Japon. Sources : *Ibid.* p. 276 et pp.279-281.

Des conceptions comme *muga* (無我、むが) c.-à-d. « non-moi, effacement de soi » ou *mushin* (無心、むしん) c.-à-d. « non-esprit, absence de pensées obstructives » étaient essentielles pour les adeptes du Zen. Leur approche spontanée du monde, sans concevoir un dualisme ou une distinction corps-âme, leur permettait d'exercer leur art avec créativité, en dépassant les limites d'un art spécifique et en brillant dans des domaines variés. Source : THELE Andreas, « Les milieux intellectuels au Japon au temps de Descartes », in THELE Andreas, TAKESHI Morisato, TAKAKO Tanigawa, YOSHINORI Tsuzaki, *Fortune de la philosophie cartésienne au Japon*, Rencontres n° 300, Classiques Garnier, 2017, p. 23. Notons que le philosophe français Montaigne ne fait pas non plus de distinction entre le corps et l'âme lorsqu'il énonce « quand je dance je dance, quand je dors je dors », cela ressemble à s'y méprendre à la sagesse d'un maître zen. Source : *Ibid.* p 26.

tendance naturelle à l'autocensure de la honte pour ne conserver que son « moi acteur »⁴⁷⁷). Tout japonais aspire à l'excellence, afin de pouvoir gérer ce système d'obligations réciproques extrêmement élaboré et ainsi vivre dans l'honneur en évitant la honte.

- L'éducation japonaise permet aux habitants de jouir de la vie tout en étant attentif à ne pas marcher sur les pieds d'autrui, comme cela leur a été inculqué depuis la prime enfance⁴⁷⁸. Ceci est un avantage considérable par rapport à d'autres peuples. Cependant, lorsqu'il se sent dénigré le moi dangereux d'un japonais peut « entrer en éruption » soit contre le détracteur soit contre lui-même⁴⁷⁹.
- Le sabre est certes le symbole du courage pour un Samuraï mais de nos jours c'est le symbole du corps humain. Ainsi, chaque japonais est responsable de la rouille sur sa personne, tout comme le Samuraï était responsable de la brillance de la lame de son sabre. Ainsi chaque japonais doit être responsable des conséquences de ses actes, c.à-d. des conséquences de sa propre faiblesse, de son manque de persévérance et de son inefficacité. La responsabilité personnelle est ainsi prise dans un sens nettement plus énergique au Japon qu'en Occident. Dans ce sens, le sabre devient le symbole de vertu : l'homme idéal pénétré du sens des responsabilités. L'âme japonaise inclut donc cette philosophie du comportement⁴⁸⁰.

⁴⁷⁷ « Connaître la sueur du Muga » signifie perdre la conscience du « moi qui observe », en fait cela signifie être au meilleur de sa forme. Pour les japonais, perdre son « moi observateur » (donc perdre l'autocensure de la honte), fait que plus rien ne se dresse entre soi-même et son but. Cela se traduit par l'expression « vivre comme quelqu'un de déjà mort », cela sert d'encouragement, élimine les craintes et met fin à toute forme de dépression. Source : *Ibid.* p. 284. Se regarder dans un miroir revient à retrouver la franchise directe de la prime enfance, le « moi sans honte », débarrassé du « moi qui observe ». Source : BENEDICT Ruth, *Le Chrysanthème et le sabre*, Editions Philippe Picquier, 19 mai 1998, p. 323.

⁴⁷⁸ Source : *Ibid.* p. 326.

⁴⁷⁹ Source : *Ibid.* p. 328.

⁴⁸⁰ Source : *Ibid.* p. 331.

Comme le dit Frédéric SAUSSE⁴⁸¹, la personnalité japonaise s'exprime notamment grâce à un système d'obligations très élaboré (le but suprême de la vie est de remplir ses obligations), par lequel l'individu se situe dans son environnement social. C'est ainsi que l'on peut mieux appréhender la mentalité japonaise.

Les japonais veulent inspirer le respect et plusieurs moyens permettent d'y parvenir, cependant malgré de réels succès (absence de crise de l'adolescence au Japon), ceci n'est pas sans risque (dépressions et suicides à l'âge adulte).

Dans leur vie quotidienne les japonais évaluent d'abord toutes les conséquences de leurs actes avant d'agir⁴⁸². Ils louent les vertus de quelqu'un qui (1) ne se risque pas à outrager une autre personne sans raison, (2) s'est affranchi de toute passion et (3) n'affiche pas un comportement égoïste⁴⁸³. Le fait que chaque japonais agisse selon les mêmes règles en tenant en compte du jugement réel ou potentiel porté par autrui sur ses propres actions, et le fait que chacun soutienne autrui dans le cadre des nuances particulières du respect de ce code, procurent un sentiment de sécurité. C'est pourquoi les japonais sont vite décontenancés lorsqu'un étranger ne respecte pas les convenances particulières au Japon⁴⁸⁴.

La notion de honte (*haji*) prévaut sur la notion de culpabilité⁴⁸⁵. Elle constitue la base du système moral au Japon, la honte de : (1) ne pas respecter ses obligations, (2) ne pas prévoir les conséquences de ses actes, et (3) ne pas bien se comporter.

Mais alors comment acquérir la discipline morale permettant de respecter ses obligations ? Notamment par une technique d'entraînement spécifique (le *Yoga*) de la discipline de soi (le *Shūyō*) menant à l'excellence, technique d'ailleurs pratiquée dans le cadre d'une version spécifiquement nipponne du bouddhisme Zen, version en vertu de laquelle la vérité ne se trouve pas dans des textes mais par l'expérience de l'esprit humain. L'entraînement systématique à la discipline de soi peut être physique ou mental. Tout japonais aspire à l'excellence, il doit certes connaître son métier quel qu'il soit, mais avant tout il doit « être Muga »⁴⁸⁶, ce qui lui permet de remplir ses obligations et de vivre dans l'honneur en évitant la honte. Un japonais « comme il faut » a « connu la honte » et adopte un comportement prévisible et circonspect.

L'éducation japonaise est discontinue, car une grande liberté est offerte dans l'enfance, puis celle-ci cesse progressivement du collège à l'âge adulte, pour réapparaître à soixante ans. Ceci crée une personnalité duale, puisqu'il faut renoncer à ses exigences personnelles au profit de la prévisibilité du collectif. Ce dualisme s'exprime par exemple par le fait que même si les japonais sont très conservateurs, ils sont aussi attirés par la nouveauté et peuvent se montrer extrêmement innovants.

⁴⁸¹ Source : SAUSSE Frédéric, « Le Chrysanthème et le Sabre (Digest) - le Code d'honneur du Japon », Le Journal de la Cité Internationale Universitaire de Paris, 3 mai 2016, disponible à l'adresse suivante : <http://saga6t.over-blog.com/2016/05/le-chrysantheme-et-le-sabre-digest-le-code-de-l-honneur-du-japon.html> (consultée le 20 août 2018).

⁴⁸² On peut ainsi aider quelqu'un mais cela revient à lui créer une dette morale à notre endroit (un « *Giri* envers le monde »). On peut critiquer autrui mais cela peut créer du ressentiment (un « *Giri* envers son propre nom »). Bref il faut bien peser le pour et le contre avant d'agir. Source : BENEDICT Ruth, *Le Chrysanthème et le sabre*, Editions Philippe Picquier, 19 mai 1998, p. 252.

⁴⁸³ Le profit est considéré comme le résultat de l'exploitation. Le fait au contraire de respecter les obligations étatiques (ou d'être fonctionnaire travaillant au bénéfice de l'État) est une vertu car cela fait partie du *Chū*. Source : *Ibid.* p. 248.

⁴⁸⁴ Source : *Ibid.* pp. 256-257.

⁴⁸⁵ La notion de honte au Japon prévaut sur la notion de culpabilité car la honte est le sentiment d'être publiquement ridiculisé ou rejeté tandis que la culpabilité (n'étant pas nécessairement de nature publique) en Occident peut être soulagée par la confession par exemple. Source : *Ibid.* p. 254.

⁴⁸⁶ Source : *Ibid.* pp. 274-276.

Annexe 9 : Quelques valeurs japonaises issues du bouddhisme et du shintō

Figure 4. Summary of Japanese cultural values in business

Shintō	Membership of a group and cooperation within the group.
	The importance of circumstances.
	Harmony between group members.
Zen Buddhism	Self-control and self-discipline.
	The importance of silence.
	Everything changes and nothing is permanent.
	Flexibility to adapt to changes.
	Acceptance of inevitable events.
Confucianism	Striving for perfection.
	Social hierarchy and respect for age.
	The importance of relationships.
	The importance of complying with social norms.
	Saving face in public.

Source: based on G. Garcia (2015), 'Japanese Cultural Traditions and International Business', in B. Christensen & J. Koeman (Eds.), Nationalism, Cultural Indoctrination, and Economic Prosperity in the Digital Age, IGI Global, p. 106-126.

Source : GARCIA Gloria, « Japanese cultural values in business relationships », Elcano Royal Institute, 16 June 2015, disponible à l'adresse suivante:

http://www.realinstitutoelcano.org/wps/portal/ri/elcano_en/contenido?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/elcano/elcano_es/zonas_es/asia-pacifico/ari29-2015-garcia-japanese-cultural-values-business-relationships (consultée le 10 janvier 2019).

Shintō influence

1	The importance of circumstances	Circumstances are important because <u>proper behaviour</u> should be expected whatever the circumstances. No action is good or bad in itself, but its meaning and values depend entirely on the circumstances, the purpose, the moment and the place. Good individual acts are those that are best for the community while bad ones are those that are damaging to it.
2	Harmony between group members	Harmony is understood to mean <u>avoiding direct confrontations</u> in daily life. Conflicts arise from the relation between one person and others and harmony between group members is the result of finding the appropriate way to adapt one's own wishes to the requirements of others.
3	Membership of a group and cooperation within it	Japanese society gives a great deal of importance to the group or community (ie) and to its social function as the nucleus around which work and life revolve. Thus, <u>the individual exists as a member of a group</u> and his <u>behaviour should be</u> polite and <u>appropriate</u> to promote cooperation within it.

Confucianism influence

1	Social hierarchy and respect for age	The vertical structure of Japanese society is based on the Confucian concept of social hierarchy, which clearly specifies the responsibilities and obligations that govern the relations between individuals. Among the most important are <u>respect for the elderly</u> and <u>deference to seniority</u> .
2	The importance of relationships	In Japanese traditional culture individuals are considered in the context of their social relationships. Relationships are paramount in Japan's social structure and a complex of <u>subtle social norms</u> govern every type of interpersonal relations.
3	The importance of complying with social norms	The Confucianism concept of <i>li</i> extends from codified acts of everyday life to <u>ethical norms</u> for thinking, feeling and acting. It provides every person with a specific position in family, community and society. In turn, this allows everyone to decide what one should or should not do in a particular circumstance and, hence, to decide on the appropriate words and actions.
4	Saving face	Perhaps one of the most important Japanese cultural values is <u>saving face</u> in public situations, as regards both oneself and others. The Japanese tend to try to find an appropriate way to adapt their own wishes to the requirements of others and thus <u>avoid offending or harming their public image</u> .

Buddhism influence

1	Self-control and self-discipline	In a situation of crisis Japanese people will try to retain their self-control and self-discipline no matter what. <u>Self-control</u> means to be able to conceal one's feelings, emotions and reactions in any situation. <u>Self-discipline</u> is the capacity to pursue what one considers is correct despite temptations to do otherwise.
2	The importance of silence	There is a Japanese proverb to the effect that "silence is golden" (iwanu ga hana, 言わぬが花、いわぬがはな). Silence is important in Japan as a result of Zen Buddhism . Truth cannot be described verbally but exists only in silence since, although words are necessary to express concepts, language hinders a deeper understanding of the reality that exists beyond words.
3	Everything changes and nothing is permanent	The Japanese are aware of the impermanence and transience of life (<i>mujo</i> , 無常、むじょう) and thus understand that reality is not fixed but subject to constant change. Events are merely transitory circumstances and words are senseless as soon as they are taken out of their original context since <u>the same circumstances will never happen again</u> .
4	Flexibility to adapt to changes	In Zen practice there is a saying that "the most wonderful mind is like water" because water continuously changes its shape to adapt to any kind environment. Flexibility is achieved by avoiding attachments, ie, by being able to change to adapt to new situations. In a world in constant change it is necessary to let go of both objects and thoughts.
5	Acceptance of the inevitable	Zen teaches that anything, <u>even death, can be faced without fear by accepting its inevitability</u> . Besides, the awareness that events cannot be controlled is inductive to accepting facts as they are.
6	Striving for perfection	<u>Seeking for perfection</u> in even the smallest matters is a cultural value that reflects in the usually <u>high level of quality and service</u> in Japan. Perfection should be attempted although it is known that such a thing is not always possible. Thus, <u>mastering technique by constant repetition is insufficient</u> and it is necessary to attempt to <u>reach a state of no-mind</u> (<i>mushin</i>).

Legal and ethical aspects

1. What are the specific barriers to the acceptance of a binding code of conduct (international code of conduct for outer space activities) that Japan promotes at United Nations level? Budget constraints? Practical difficulties to manage international legal disputes?
2. Most of countries including Japan and USA have not signed the Moon treaty. Japan and USA encourage their private sector to exploit asteroids' natural resources from a business perspective. Apart from the technical difficulties linked to those mining activities, do you think this is a correct strategy from an ethical point of view? If humans are still exploiting energy on Earth without preserving efficiently their planet by protecting its environment, is it worth it to keep on doing the same behavior, but this time in space? The interest for the scientific study of asteroids and comets is fully understandable, however its commercial use (for energy exploitation like He-3 on the Moon) might perhaps be an ethical issue. What is your standpoint about this, as a scientist?

Political aspects

3. Positive aspects of JAXA space programme are amongst others space debris management (Kōnotori 6 mission with KITE), "Space Solar Power System", international cooperation on natural disasters prevention at ASEAN level, space programme focused on surveillance of Earth in order to study and monitor environmental issues, ... Those multiple positive aspects of the content of JAXA space programme could contribute to increase the *soft power* (reputation) of Japan but surprisingly few publicity was made about them. Why (especially in comparison with China which seems to make a bigger publicity of its space activities)? Is it due to the need for secrecy?
4. The Space Policy Division (SPD) was created by the Ministry of Foreign Affairs of Japan (MOFA) in 2012 (in order to monitor space debris and to protect satellites from collisions or attacks) but [this article](#) suggests its integration among the Ministry of Defense (Japanese Self-Defense Forces - JSDF) in 2019. Operationally is the SPD under the command of MOFA or JSDF or both depending on nature of activity (civilian or defence)? The Space Policy seems to be also under the supervision of [Tayuka HIRAI](#) the Minister of State for Space Policy at the Cabinet Office, he would have a coordination and support role towards the Prime Minister.
5. Japan is the sole space power having a dedicated [Minister of State for Space Policy](#) at the Cabinet Office of the Prime Minister. Why? Does this reflect a priority for space among Japanese government? Or does this reflect the practical need to coordinate activities of MOFA, JSDF and JAXA?
6. All space powers have an army component dedicated to space so it seems logical Japan could do the same but article 9 of Japanese Constitution was created to limit as much as possible the role of the Army. What do you think about a JSDF presence in space in such context? Since the security laws of Japan modified the interpretation of article 9 of the Constitution, allowing now a military intervention under specific conditions (doctrine of proactive pacifism with a collective

autodefense strategy), is there a risk for dual technologies being used by Japan in space for military purposes in an “offensive” way (even by accident)?

Technical aspects

7. Use of solar energy to produce electricity is a way to reduce global warming on Earth. What is the current status of the “Space Solar Power System”? Could it be operational in 2030 as expected? Will the prototype (smaller system) be in place around 2020 as planned?
8. The concept to use an electrodynamic tether to put space debris in a lower orbit seems promising. From the lessons learnt after *Kōnotori 6* mission in 2017, will there be a new test in space in the following years? After all, the electrodynamic tether could not be deployed (due to a “common” fixing system failure in the cargo hold), shouldn’t it be worth it to do a second test to verify if the concept (usage of a tether mechanism) works as expected?
9. Do you share the opinion of [Michiru Nishida](#) (from Ministry of Foreign Affairs) when he says the following : “since Japan successfully managed to impose its standards for the automobile industry, Japan will surely be able to do the same for the removal of space debris in low orbit”?
10. The creation of an experimental space plane flying beyond the Karman line (thus allowing deployment of satellites in extra-atmospheric space) was also a JAXA project in the past. *Hope-X* was cancelled in 2003 and a [space plane](#) for tourism purpose is under study by a start-up named PD Aerospace (release date is from 2023). Is there any JAXA project of experimental space plane (like the American Boeing XS-1)?
11. According to you, is it possible to use the solar sail system technology (an improved version of Ikaros but this time with light beams and a nanocraft as probe) to move to Alpha Centauri stellar system (at 20% of light speed)?
This [weblink](#) provides more details about Breakthrough Starshot Project. [Breakthroughinitiatives](#) is a private association mostly composed by academic people from various universities, its international management team includes Mr Shin-ya NARUSAWA from Japan. [Breakthrough Starshot Project](#) is managed by various people and especially Mr Kaya NOBUYUKI from Kobe university.
At least this project shows the evidence that Ikaros was a real success in 2010 since it gave ideas to travel outside our own solar system at a faster speed allowing to exploit scientific results in a shorter timeframe (no need to wait for other generations of human beings to exploit results like today with American “Voyager 1” and “Voyager 2” probes still travelling after [more than forty years](#))!

The drawback of innovation

12. Despite all JAXA efforts, a few space missions gave suboptimal results for various reasons (for instance a blocked valve prevented propulsion of the rocket for *Nozomi*, a software error to control altitude prevented *Hitomi* to be used as intended, malfunction of the fastening system in the hold prevented the deployment of the electrodynamic tether for *Kōnotori 6* mission). Mistakes do happen in other space agencies of course and JAXA is not specifically singled out. Was the cause of those suboptimal results due to the focus being set on the innovative part of the missions to the detriment of the more “standard” activities belonging to the “routine” (e.g.

focus on the quality of the telescope mirror for *Hitomi* as top priority to the detriment of other “more standard” aspects of the mission)?

Financial aspects

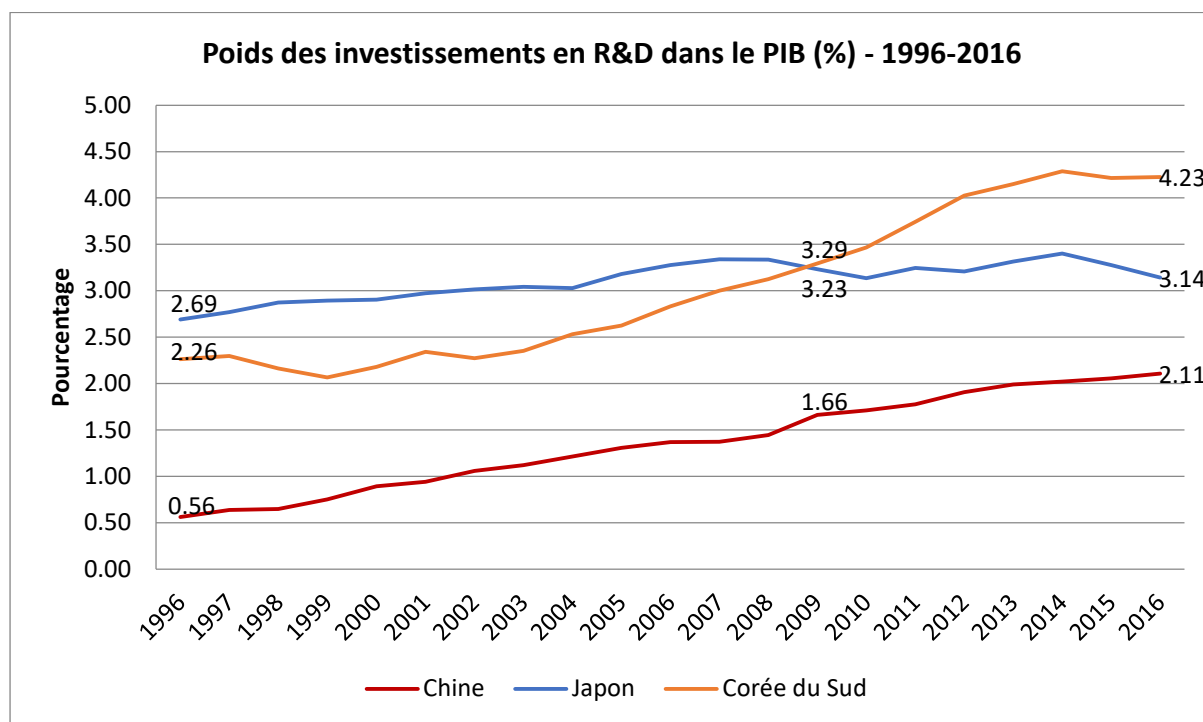
13. Is there a way to have an approximative amount of the cost for JAXA of each of the following missions: *Hitomi*, *SPICA*, *Hiten*, *Akatsuki*, *Hayabusa-1*, *Hayabusa-2* and *Tsubame*? Should not tax payers know how their money is used especially for such virtuous activities?

Miscellaneous

14. JAXA allows the visit of its space centers for [touristic purposes](#). Do you consider Tanegashima Space Center is worth a visit? Is there a specific space center you would recommend?

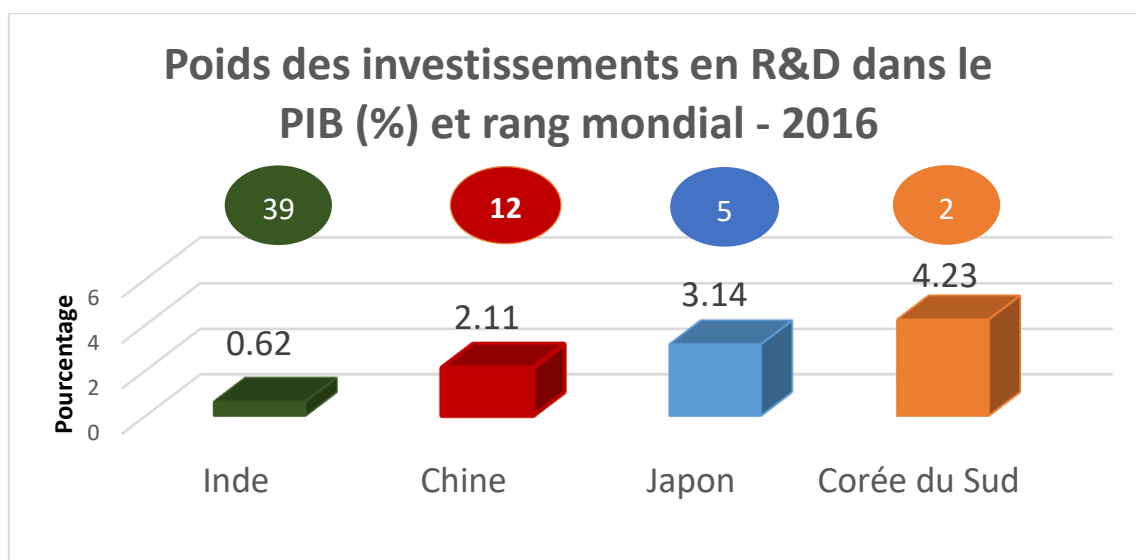
Annexe 11 : Le poids des investissements en R&D par rapport au PIB

Evolution des dépenses en recherche et développement pendant 10 ans



Source : « Dépenses en recherche et développement (% du PIB) - Institut des statistiques de l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO) », Banque Mondiale (données au 10/07/2019), disponible à l'adresse suivante : <https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/GB.XPD.RSDV.GD.ZS> (consultée le 23 juillet 2019).

Les dépenses en recherche et développement en 2016



Source : *Ibid.*

En valeur relative par rapport au Produit Intérieur Brut, le Japon investit plus en R&D que la Chine mais il est supplanté par son voisin sud coréen (depuis 2009 si l'on regarde l'évolution en 10 ans).

8. Sources

8.1 Bibliographie

- ALIBERTI Marco, *When China goes to the Moon*, ESPI (European Space Policy Institute), « Studies in Space Policy » collection, Springer International Publishing AG editions, July 2015, 336 p.
- AMMAR-ISRAËL Arlène et FELLOUS Jean-Louis, *L'exploration spatiale - au carrefour entre la science et la politique*, CNRS éditions 2011, 329 p.
- AUROUX Sylvain, *La pensée japonaise*, Presses Universitaires de France, Janvier 2019, 104 p.
- BARRELY Christine, *Le petit livre du Japon*, Éditions du Chêne, Septembre 2017, 169 p.
- BATTISTELLA Dario, *Théories des relations internationales*, 5^{ème} édition mise à jour, Presses de la Fondation Nationale des Sciences Politiques, juillet 2015, 717 p.
- BENEDICT Ruth, *Le Chrysanthème et le sabre*, Editions Philippe Picquier, 19 mai 1998, 351 p.
- BONIFACE Pascal, *La géopolitique*, Editions Eyrolles Pratique, Octobre 2014, 197 p.
- BOREL Denis et SOURBÈS-VERGER Isabelle, *Un empire très céleste : La Chine à la conquête de l'espace*, éditions Dunod, 2008, 275 p.
- BOUISSOU Jean-Marie, *Le Japon contemporain*, Fayard, 26 septembre 2007, 618 p.
- CABE Chantal, « Le Japon : La volonté de cultiver sa différence » p. 90-91, *in* Le Monde Hors-série n°28, « Les civilisations en cartes », DREYFUS Louis, Le Monde, Avril 2019, 122 p.
- COURMONT Barthélémy, *Géopolitique du Japon: Une puissance inquiète*, Editions Argos, 5 juillet 2013, 154 p.
- COURTOIS Hélène et TOGNINI Michel, *Explorateurs de l'espace - Voyage aux frontières de l'Univers*, éditions Dunod, Avril 2019, 195 p.
- CONTZEN Jean-Pierre, *Les menaces venant de l'espace*, Editions Académie royale de Belgique, Mars 2014, 68 p.
- DAWSON Linda, *The politics and perils of space exploration - Who will compete, who will dominate?*, Springer editions, 22 November 2016, 199 p.
- DAYEZ-BURGEON Pascal, *Histoire de la Corée des origines à nos jours*, Editions Tallandier, Novembre 2012, 480 p.
- DE JAEGHERE Michel, *Japon Impérial*, Le Figaro Histoire n°46, Octobre-Novembre 2019, 130 p.
- DRÉER Francis, *Conquête spatiale - Histoire des vols habités*, éditions ETAI, 2013, 206 p.
- DUFOURMONT Eddy, *Histoire politique du Japon de 1853 à nos jours*, Presses Universitaires de Bordeaux, 2017, 496 p.
- EUROCONSULT, *Profiles of Government Space Programs - Analysis of over 80 countries and agencies*, édition 2015, 60 p.
- FRÉDÉRIC Louis, *Japon : L'Empire éternel - Une histoire politique et socio-culturelle du Japon*, Éditions du félin, 12 novembre 2015, 476 p.
- FRÉDÉRIC Louis, *Japon : Le Japon - Dictionnaire et civilisation*, éditions Robert Laffont, collection Bouquins, 3 octobre 1996, 1470 p.
- GRAVEREAU Jacques (Institut HEC-Eurasia), *Le Japon au XXème siècle*, Seuil, 2 avril 1993, 608 p.
- GROUARD Serge, *La guerre en orbite*, éditions Economica, 1^{er} janvier 1994, 384 p.
- HARVEY Brian, SMID Henk H F, PIRARD Theo, *Emerging space powers : The new space programs of Asia, the Middle East, and South America*, Springer Praxis, 2010, 624 p.
- HENDRY Joy, *Understanding Japanese Society*, 4th edition, Nissan Institute/Routledge Curzon Japanese Studies Series, 12 August 2012, 256 p.
- HISASHI Owada, *Le programme de relations internationales du Japon pour les années 1990, n°3 - 1990 - 55^e année*, Politique étrangère, Persée, vol. 55, 1990.
- HORIUCHI Kozo, OTAKI Masayuki, *Dr Osamu Shimomura's Legacy and the Postwar Japanese Economy*, Springer editions, 10 August 2017, 113 p.
- Imprimerie nationale, *Lexique des règles typographiques en usage à l'imprimerie nationale*, 6^{ème} édition, 2002, 196 p.

- IZANŌ Nitobe, *Bushidō : l'âme du Japon*, Budo éditions, 25 mai 2009, 190 p. (première parution en 1900).
- JANVIER Elena, *Au Japon ceux qui s'aiment ne disent pas je t'aime*, éditions Arlea-Poche, 5 janvier 2012, 136 p.
- KOHLER Pierre et GERMAIN Jean-René, *Von Braun contre Korolev - Duel pour la conquête de l'espace*, éditions Plon, 1993, 277 p.
- LAUWAERT Françoise, *Puissance et pouvoir de l'écriture chinoise*, Editions Académie royale de Belgique, Avril 2015, 115 p.
- LECHEVALIER Sébastien, *Innovation beyond technology - Science for society and interdisciplinary approaches*, Springer editions, 2019, 324 p.
- LEFEBRE Jean-Luc, *Stratégie spatiale. Penser la guerre des étoiles, une vision française*, éditions Esprit du livre, 30 juin 2011, 404 p.
- LELE Ajey, *Asian Space Race : Rethoric or Reality ?*, Springer editions, 2013, 279 p.
- LUCAS Didier, « La reconquête de l'espace », Paris, éditions Choiseul, 128 p.
- LUMINET Jean-Pierre, *L'univers en 100 questions*, éditions Tallandier, collection Texto, 5 novembre 2015, 288 p.
- MARONESE Liza, *Dictionnaire insolite du Japon*, Cosmopole, 16 novembre 2012, 160 p.
- MESMER Philippe, « Japon : l'archipel impérial devient impérialiste », p. 148-149, in *Le Monde Hors-série n°18*, « L'atlas des empires, où est le pouvoir aujourd'hui ? », GIRET Vincent, Le Monde, Octobre 2016, 186 p.
- MISHIMA Yukio, *Le Japon moderne et l'éthique Samuraï*, Gallimard, 22 mars 1985, 160 p.
- MORITA Akio, *The Japan That Can Say No*, Jeffersonian Educational Foundation, 1990, 108 p.
- NAKAGAWA Hisayasu, *Introduction à la culture japonaise*, Presses Universitaires de France, 15 janvier 2015, 96 p.
- NAZÉ Yaël, *Astronomie du passé - De Stonehenge aux pyramides mayas*, éditions Belin, 19 janvier 2018, 240 p.
- NAZÉ Yaël, *Art et Astronomie: Impressions célestes*, éditions Omniscience, 1^{er} octobre 2015, 236 p.
- NORBURY Paul, *Le petit guide des usages et coutumes au Japon*, « Collection Guides Bleus », éditions Hachette, 7 février 2018, 168 p.
- NYE Joseph S., *Soft Power: The Means to Success in World Politics*, Public Affairs US New Editions, June 2005, 208 p.
- ODAIRA Namihei, « Politique : la menace fantôme », *Zoom Japon n°67*, février 2017, 32 p.
- PARMENTIER Agathe, *Pourquoi Tokyo ?*, Pocket, 25 janvier 2018, 221 p.
- PELLETIER Philippe, *La fascination du Japon - idées reçues sur l'archipel japonais*, 3^{ème} édition, Le Cavalier Bleu, 23 août 2018, 299 p.
- PEKKANEN Saadia (professeure à l'Université de Washington), *Le Japon, une puissance spatiale sous-estimée* in « Géopolitique de l'espace », *Diplomatie, les grands dossiers n° 34*, Août-Septembre 2016, 96 p.
- PEYRAT Julien, *L'essentiel de la civilisation japonaise*, éditions Studyrama (2^{ème} édition), 12 mars 2019, 128 p.
- PING Huan (chercheur à l'Université du Québec), « La Chine construit sa cybersécurité - Géopolitique de la Chine », *Diplomatie, Hors Série n°45*, Juin 2018, 96 p.
- POUPEE Karyn, *Les Japonais*, Collection Texto, éditions Tallandier, 2012, 663 p.
- RAUW Gregor, « La malédiction X a encore frappé ! », *Le Ciel* 2016/9 (Société Astronomique de Liège), pp. 418-421.
- REISCHAUER Edwin O., *Histoire du Japon et des Japonais - 1. Des origines à 1945*, Points, 4 septembre 2014, 256 p.
- REISCHAUER Edwin O., *Histoire du Japon et des Japonais - 2. De 1945 à nos jours*, Points, 4 septembre 2014, 320 p.

- SANGUY Marie Ange, « Bases lunaires - On repense tout! », Espace Exploration n° 33, Mai-Juin 2016, 97 p.
- SANGUY Marie Ange, « Mascot à la surface de Ryugu », Espace Exploration n° 47, Septembre-Octobre 2018, 97 p.
- SANGUY Marie Ange, « Chang'E-4 - La Chine sur la face cachée de la Lune », Espace Exploration n° 48, Novembre-Décembre 2018, 97 p.
- SOSEKI Natsume, *Je suis un chat*, collection « Connaissance de l'Orient », éditions Gallimard, 12 mars 1968, 438 p. (satire d'une société en transition en 1905-1906).
- SOURBÈS-VERGER Isabelle, « Russie, Japon, Chine, Inde : quelles politiques spatiales en 2012 ? », p. 61-72 dans *Géoéconomie 2012/2* (n° 61).
- SOUYRI Pierre-François : *Nouvelle histoire du Japon*, Editions Perrin, 2 septembre 2010, 640 p.
- SOUYRI Pierre-François : *Moderne sans être occidental : Aux origines du Japon d'aujourd'hui*, éditions Gallimard, 11 mai 2016, 496 p.
- STRUVE Daniel et TSCHUDIN Jean-Jacques: *La littérature japonaise*, éditions Que sais-je ?, Juin 2017, 217 p.
- SUGITOMO Masayoshi, L. SWAIN David, *Science and culture in traditional Japan*, Charles E. Tuttle editions, 1989, 498 p.
- THELE Andreas, « Les milieux intellectuels au Japon au temps de Descartes », in THELE Andreas, TAKESHI Morisato, TAKAKO Tanigawa, YOSHINORI Tsuzaki, *Fortune de la philosophie cartésienne au Japon*, Rencontres n° 300, Classiques Garnier, 2017, 195 p.
- TRINH Xuan Thuan, *Face à l'univers*, Éditions Pluriel, Collection Sciences et Techniques, 4 mai 2017, 114 p.
- TSUYOSHI Hasegawa, *Staline, Truman et la capitulation du Japon - La course à la victoire*, Editions de l'Université de Bruxelles, 11 mars 2014, 337 p.
- WALTZ Kenneth, *Theory of international politics*, University of California, Berkeley, Addison-Wesley, 1979, 256 p.

8.2 Internet

8.2.1 L'espace en général

- « Asteroid Mining, Deep Space Industries », DSI, disponible à l'adresse suivante : <http://deepspaceindustries.com/> (consultée le 22 décembre 2015).
- « Asteroid prospecting technology is in space today », Planetary Resources, disponible à l'adresse suivante: <http://www.planetaryresources.com/> (consultée le 22 décembre 2015).
- BRACHET Gérard, « The Safety and Security of Space Activities », Académie Air Espace, Bruxelles, 19 mars 2014, disponible à l'adresse suivante : <http://www.academie-air-espace.com/> (consultée le 19 mars 2014).
- « Claudie Haigneré », Sanofi, disponible à l'adresse suivante : http://www.sanofi.com/investisseurs/gouvernement_entreprise/conseil_administration/bio_haignere.aspx (consultée le 9 décembre 2015)
- DE AMORIN Jimmy, BLERON Alexandre et FOURET Julien, « Space Shuttle : l'exploration spatiale économique », 2007, disponible à l'adresse suivante : <http://spaceconquest.pagesperso-orange.fr/SpaceShuttle.htm> (consultée le 15 novembre 2014).
- DE AMORIN Jimmy, BLERON Alexandre et FOURET Julien, « Les moyens de propulsion dans l'espace », 2007, disponible à l'adresse suivante : <http://spaceconquest.pagesperso-orange.fr/Propulsion.htm> (consultée le 15 novembre 2014).
- « Puissances spatiales ayant réussi une satellisation », Destination orbite, disponible à l'adresse suivante : <http://www.destination-orbite.net/lanceurs/liste.php> (consultée le 15 mars 2014).

- RAJ Laksh, « What is the colour of the Sun ? », Quora.com, 22/05/2017, disponible à l'adresse suivante : <https://www.quora.com/What-is-the-colour-of-the-Sun-it-appears-white-outside-of-the-earth-but-I-have-seen-pictures-where-it-looks-orange> (consultée le 26 juin 2018).
- SOURBÈS-VERGER Isabelle, « Géopolitique spatiale », éducol (portail national des professionnels de l'éducation), 15 décembre 2004, site disponible à l'adresse suivante : <http://eduscol.education.fr/cid46160/geopolitique-spatiale.html> (consultée le 22 décembre 2015).
- SOCIÉTÉ ASTRONOMIQUE DE LIÈGE, bulletin mensuel « Le Ciel », disponible à l'adresse suivante : <http://www.societeastronomique.ulg.ac.be/actualites/bulletin-le-ciel/> (consultée le 29/06/2018).
- « The Electromagnetic Spectrum », Stanford university, disponible à l'adresse suivante : <http://solar-center.stanford.edu/SID/activities/GreenSun.html> (consultée le 26/06/2018).
- THE EXOPLANET TEAM, « Liste des exoplanètes », The Extrasolar Planets Encyclopaedia, 9 décembre 2015, disponible à l'adresse suivante : <http://exoplanet.eu> (consultée le 9 décembre 2015).
- « The Planetary Society, your place in space », The Planetary Society, disponible à l'adresse suivante, <http://planetary.org/> (consultée le 22 décembre 2015).
- United Senate Historical Office, « John Glenn : A Featured Biography », United States Senate, disponible à l'adresse suivante : http://www.senate.gov/artandhistory/history/common/generic/Featured_Bio_Glenn.htm (consultée le 09 décembre 2015)
- « Les lancements de par le monde », Rêve d'espace, disponible à l'adresse suivante: <https://reves-d-espace.com/calendrier-des-lancements-a-travers-le-monde/les-lancements-de-part-le-monde-2017-et/> (consultée le 3 juillet 2018).
- BRIONNET Guillaume, « Les puissances de l'espace - Alors que de nouveaux pays, comme la Chine, l'Inde ou la Suède, investissent dans l'espace et ses technologies, où en sommes-nous des rapports entre les puissances mondiales ? La géographe Isabelle Sourbès-Verger fait le point sur la géopolitique spatiale actuelle », CNES, 1/08/2017, disponible à l'adresse suivante : <https://lejournel.cnrs.fr/articles/les-puissances-de-lespace> (consultée le 17 juillet 2018).
- EDUSPACE, ESA, disponible à l'adresse suivante : https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_FR/SEMP401POWF_0.html (consultée le 19 juillet 2018).
- « Les 15 missions spatiales les plus chères de l'Histoire prouvent que l'humanité a les yeux rivés vers les étoiles », Dailygeekshow, disponible à l'adresse suivante: <https://dailygeekshow.com/mission-espace-spatiale-cher/> (consultée le 24 juillet 2018).
- PESQUET Thomas, « C'est cher la conquête spatiale ? », Huffpost, 4/10/2016, disponible à l'adresse suivante: https://www.huffingtonpost.fr/thomas-pesquet/conquete-spatiale-cout-b_1947712.html (consultée le 25 juillet 2018).
- VILAIN Jacques, « Conquête spatiale : les dizaines de milliards que nous envoyons "en l'air" seront-ils un jour rentables ? », 6/03/2015, disponible à l'adresse suivante : <http://www.atlantico.fr/decryptage/conquete-spatiale-dizaines-milliards-que-envoyons-en-air-seront-jour-rentables-jacques-villain-2022108.html> (consultée le 25 juillet 2018).
- WOOD Johnny, « The countries with the most satellites in space », 4/03/2019, World Economic Forum, disponible à l'adresse suivante: <https://www.weforum.org/agenda/2019/03/chart-of-the-day-the-countries-with-the-most-satellites-in-space/> (consultée le 8 décembre 2019).
- GEDEON (Ingénieur dans le domaine de l'observation de la Terre. Bénévole de l'association Planète Sciences Midi-Pyrénées), « Année spatiale 2018 - Le bilan des lancements orbitaux », overblog.com, 31/12/2018, disponible à l'adresse suivante: <http://un-regard-sur-la-terre.org/2018/12/annee-spatiale-2018-le-bilan-des-lancements-orbitaux.html> (consultée le 14 décembre 2019).

8.2.2 L'espace : aspects juridiques

- « Traités et principes des Nations unies relatifs à l'espace extra-atmosphérique - Traité sur les principes régissant les activités des États en matière d'exploration et d'utilisation de l'espace extra-atmosphérique, y compris la Lune et les autres corps célestes », Nations unies, New York, 2002, disponible à l'adresse suivante : <http://www.unoosa.org/pdf/publications/STSPACE11F.pdf> (consultée le 15 novembre 2014).
- Accord régissant les activités des États sur la Lune et les autres corps célestes », New York, 5 décembre 1979, disponible à l'adresse suivante : https://treaties.un.org/pages/ViewDetails.aspx?src=TREATY&mtdsg_no=XXIV-2&chapter=24&lang=fr (consultée le 15 novembre 2014).
- « Moon Agreement », UN, 5 December 1979, disponible à l'adresse suivante : <http://www.mcgill.ca/files/iasl/moon.fr.pdf> (consultée le 15 novembre 2014).
- LISTNER Michael, « The Moon Treaty: failed international law or waiting in the shadows ? », The Space Review, 24 October 2011, disponible à l'adresse suivante : <http://www.thespacereview.com/article/1954/1> (consultée le 15 novembre 2014).
- COURTEIX Simone, « L'accord régissant les activités des Etats sur la lune et les autres corps célestes », dans « Annuaire français de droit international », 1979, volume 25, n° 1, pp. 203-222, disponible à l'adresse suivante : http://www.persee.fr/doc/afdi_0066-3085_1979_num_25_1_2154 (consultée le 15 novembre 2014).
- LAFFERRANDERIE G., « Space Law Questions & Answers », ESA (European Centre for Space Law), disponible à l'adresse suivante : http://www.Esa.int/SPECIALS/ECSL/SEMU4H2DU8E_0.html (consultée le 15 novembre 2014).
- « The United Nations Committee on Peaceful Uses of Outer Space (Copuos) », disponible à l'adresse suivante : <http://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/copuos/index.html> (consultée le 23 septembre 2015) et <http://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/copuos/members/evolution.html> (consultée le 20 juillet 2018).
- « Prevention of an Arms Race in Outer Space », United Nations, 10 December 1996, disponible à l'adresse suivante : <http://www.un.org/documents/ga/res/51/a51r044.htm> (consultée le 15 avril 2014).
- VERDURE Christophe, « Droit de l'espace », Futura-Espace, 17 mars 2002, disponible à l'adresse suivante : <http://www.futura-sciences.com/magazines/espace/infos/dossiers/d/astronomie-droit-espace-13/> (consultée le 15 avril 2015).
- POROKHIN Igor (for Roscosmos), « Legal Framework for ISS », Unoosa, 17 avril 2013, disponible à l'adresse suivante : <http://www.unoosa.org/pdf/pres/lsc2013/tech-05E.pdf> (consultée le 24 juillet 2015).
- « Space Station Treaty » (entering into force on 27 March 2001), US Department of State, 29 January 1998, disponible à l'adresse suivante : <http://www.state.gov/documents/organization/107683.pdf> (consultée le 24 juillet 2015)
- « International Traffic in Arms Regulations », US Government Publishing Office, electronic code of federal regulations valid as from 17 December 2015, disponible à l'adresse suivante : <http://www.ecf.r.gov/cgi-bin/text-idx?SID=272bdc49f38b07396fb22b83605ad60d&mc=true&tpl=/ecf.rbrowse/Title22/22CisubchapM.tpl> (consultée le 21 décembre 2015)
- Congress.gov, « U.S. Commercial Space Launch Competitiveness Act », 25 novembre 2015, disponible à l'adresse suivante : <https://www.congress.gov/bill/114th-congress/house-bill/2262> (consultée le 28 mars 2016)
- Le Blog de la Résistance, « La loi américaine sur la propriété des ressources minières des astéroïdes promulguée par OBAMA », 26 novembre 2015, disponible à l'adresse suivante :

<https://resistanceauthentique.wordpress.com/2015/11/26/la-loi-americaine-sur-la-propriete-de-s-ressources-minieres-des-asteroides-promulguee-par-obama/> (consultée le 28 mars 2016)

- SEIBT Sébastien, « Espace : le Sénat américain vote l'autorisation d'exploiter les astéroïdes », France 24, 13 novembre 2015, disponible à l'adresse suivante : <http://www.france24.com/fr/20151112-espace-entreprise-americaine-asteroide-economie-commerce-loi-senat> (consultée le 28 mars 2016).
- MOTHERBOARD, « L'exploitation minière des astéroïdes est désormais légale pour les américains », 1^{er} décembre 2015, disponible à l'adresse suivante : <http://motherboard.vice.com/fr/read/les-etats-unis-autorisent-l'exploitation-des-astrodes-pour-les-americains> (consultée le 28 mars 2016).
- ODUNTAN Gbenga (University of Kent), « Who owns space? Looking at the US asteroid-mining act », The Register, 27 November 2015, disponible à l'adresse suivante : http://www.theregister.co.uk/2015/11/27/asteroid_mining_act/ (consultée le 28 mars 2016).
- GAZZANE Hayat, « Le projet fou du Luxembourg pour exploiter des mines dans l'espace », Le Figaro.fr, 5 février 2016, disponible à l'adresse suivante : <http://www.lefigaro.fr/conjoncture/2016/02/05/20002-20160205ARTFIG00086-le-projet-fou-du-luxembourg-d-exploitation-de-mines-dans-l-espace.php> (consultée le 28 mars 2016).
- MCGRATH Meredith, « Small country, big Universe - Luxembourg aims for space business », Reuters, 3 February 2016, disponible à l'adresse suivante : <http://www.reuters.com/article/us-luxembourg-space-mining-idUSKCN0VC1T3> (consultée le 28 mars 2016).
- ARON Jacob, « Luxembourg's asteroid mining bid is Europe's first », The New Scientist, 3 February 2016, disponible à l'adresse suivante : <https://www.newscientist.com/article/2076253-luxembourgs-asteroid-mining-bid-is-europes-first/> (consultée le 28 mars 2016).
- SETSUKO Aoki, « Le Japon adopte une nouvelle loi pour encourager l'expansion des activités spatiales », nippon.com, 12 juillet 2017, disponible à l'adresse suivante : <https://www.nippon.com/fr/currents/d00294/> (consultée le 4 juillet 2018).
- « Implementation Plan of the Basic Plan on Space Policy (revised FY2017) », Cabinet Office (Bureaux du premier ministre) , slide nr 46 (Space Situation Awareness), 25 April 2018, disponible à l'adresse suivante : <http://www8.cao.go.jp/space/english/basicplan/2017/basicplan.pdf> (consultée le 13 juillet 2018).
- « Coopération internationale », Belspo (*Belgian Science Policy*, Service public de programmation de la Politique scientifique fédérale), disponible à l'adresse suivante : https://www.belspo.be/belspo/space/intCoop_fr.stm (consultée le 20 juillet 2018).
- GAUBERT Cécile, VUILLEMIN Karine, Droit aérospatial - Gestion des débris spatiaux, Journal Spécial des Sociétés n° 47, 14 juin 2017, disponible à l'adresse suivante : https://www.jss.fr/JSS_AS_WEB/DOC/JSS/2017/JSS_47.pdf (consultée le 26 octobre 2018).
- VUILLEMIN Karine, Droit aérospatial - Comment éviter le syndrome de Kessler ?, Journal Spécial des Sociétés n° 47, 14 juin 2017, disponible à l'adresse suivante : https://www.jss.fr/JSS_AS_WEB/DOC/JSS/2017/JSS_47.pdf (consultée le 26 octobre 2018).

8.2.3 L'espace : aspects budgétaires

- AL-EKABI Cenan, « Space Policies, Issues and Trends in 2011-2012 », ESPI (European Space Policy Institute) Report 49, May 2012, disponible à l'adresse suivante : http://www.espi.or.at/images/stories/dokumente/studies/ESPI_Report_42.pdf (consultée le 12 août 2015).
- AL-EKABI Cenan, « Space Policies, Issues and Trends in 2012-2014 », ESPI (European Space Policy Institute) Report 49, November 2014, disponible à l'adresse suivante : http://www.espi.or.at/images/stories/dokumente/studies/ESPI_Report_49.pdf (consultée le 12 août 2015).
- AL-EKABI Cenan, « Space Policies, Issues and Trends in 2014-2015 », ESPI (European Space Policy Institute) Report 54, December 2015, disponible à l'adresse suivante : http://www.espi.or.at/images/stories/dokumente/studies/Rep54_ABA_online_151123-1852.pdf (consultée le 10 mars 2016).
- AL-EKABI Cenan, « Space Policies, Issues and Trends in 2015-2016 », ESPI (European Space Policy Institute) Report 61, November 2016, disponible à l'adresse suivante : http://www.espi.or.at/images/stories/dokumente/studies/Rep54_ABA_online_151123-1852.pdf (consultée le 22 mai 2017).
- AL-EKABI Cenan, « Space Policies, Issues and Trends in 2016-2017 », ESPI (European Space Policy Institute) Report 63, September 2017, disponible à l'adresse suivante : <https://espi.or.at/publications/espi-public-reports> (consultée le 29 avril 2019).
- BORDACCHINI Giulia and BURGER Edward, « Space Policies, Issues and Trends in 2017-2018 », ESPI (European Space Policy Institute) Report 65, October 2018, disponible à l'adresse suivante : <https://espi.or.at/publications/espi-public-reports> (consultée le 29 avril 2019).
- « Dépenses en recherche et développement (% du PIB) - Institut des statistiques de l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO) », Banque Mondiale (données au 10/07/2019), disponible à l'adresse suivante : <https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/GB.XPD.RSDV.GD.ZS> (consultée le 23 juillet 2019).

8.2.4 Le rayonnement X

- « Perseus Cluster », Chandra X-Ray Observatory Center, Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, image credit by NASA/CXC/Stanford/I.Zhuravleva et al, disponible à l'adresse suivante : http://chandra.harvard.edu/photo/2014/perseusvirgo/perseusvirgo_hand.pdf (consultée le 17 juillet 2018).
- LAUSSON Julien, « Le télescope spatial Hitomi toujours hors de contrôle », Numerama.com, 8/04/2016 disponible à l'adresse suivante : <https://www.numerama.com/sciences/161915-le-telescope-spatial-hitomi-toujours-hors-de-contrôle.html> (consultée le 18 juillet 2018).
- « Communication anomaly of X-ray Astronomy Satellite "Hitomi" (ASTRO-H) », JAXA, 27/03/2016, disponible à l'adresse suivante : http://global.jaxa.jp/press/2016/03/20160327_hitomi.html (consultée le 18 juillet 2018).
- « An Unexpectedly Calm Hot Gas in the Center of the Perseus Cluster », JAXA, 7/07/2016, disponible à l'adresse suivante : http://global.jaxa.jp/projects/sat/astro_h/topics.html#topics8001 (consultée le 18 juillet 2018).
- « Operation Plan of X-ray Astronomy Satellite ASTRO-H (Hitomi) », JAXA, 28/04/2016, disponible à l'adresse suivante : http://global.jaxa.jp/press/2016/04/20160428_hitomi.html (consultée le 18 juillet 2018).
- CHIRGWIN Richard, « Jaxa's litany of errors spun Hitomi to pieces - Agency releases analysis of why the satellite broke up », Theregister.co.uk, 1/06/2016, disponible à l'adresse suivante :

https://www.theregister.co.uk/2016/06/01/jaxas_litany_of_errors_spun_hitomi_to_pieces/
(consultée le 18 juillet 2018).

- OTSUKA Minoru, « Japan's Education Ministry, X third party Committee on accidents of the x-ray astronomy satellite "Hitomi" », news.mynavi.jp, 11/05/2016, disponible en japonais à l'adresse suivante : <https://news.mynavi.jp/article/20160526-hitomi/> et traduit en anglais à l'adresse suivante : <https://www.microsofttranslator.com/bv.aspx?ref=IE8Activity&r=true&a=https%3A%2F%2Fnews.mynavi.jp%2Farticle%2F20160511-a266%2F> (consultée le 18 juillet 2018).
- WITZE Alexandra, « Troubled Japanese space agency seeks fresh start - Push to resurrect instrument lost during satellite failure highlights JAXA's resilience », Nature, 29/07/2016, disponible à l'adresse suivante : <https://www.nature.com/news/troubled-japanese-space-agency-seeks-fresh-start-1.20348> (consultée le 18 juillet 2018).
- « Japan abandons costly X-ray satellite lost in space », AP News, 29/04/2016, disponible à l'adresse suivante : <https://apnews.com/9e60d7cf40db4751926a9247f663e55a/japan-abandons-costly-x-ray-satellite-lost-space> (consultée le 24 juillet 2018).
- FOUST Jeff, « NASA and JAXA to develop replacement X-ray astronomy telescope », Spacenews, 1/04/2017, disponible à l'adresse suivante : <https://spacenews.com/nasa-and-jaxa-to-develop-replacement-x-ray-astronomy-telescope/> (consultée le 24 juillet 2018).
- FOUST Jeff, « NASA and JAXA begin discussions on aftermath of Hitomi failure », Spacenews, 13/06/2016, disponible à l'adresse suivante : <https://spacenews.com/nasa-and-jaxa-begin-discussions-on-aftermath-of-hitomi-failure/> (consultée le 18 septembre 2018).
- TRACEY Janey, « JAXA is « very sorry » they'll never get the Hitomi Satellite back », Outerplaces.com, 28/04/2016, disponible à l'adresse suivante : <https://www.outerplaces.com/science/item/11985-jaxa-acknowledges-they-ll-never-get-the-hitomi-satellite-back> (consultée le 25 juillet 2018).
- « Hitomi (Astro-H) Analysis of events by JAXA (in Japanese) », NASASpaceFlight.com (forum), 15/04/2016, disponible à l'adresse suivante : <https://forum.nasaspaceflight.com/index.php?action=dlattach;topic=28598.0;attach=1110940;sess=0> (consultée le 25 juillet 2018).
- « JAXA Press Conference on Hitomi (movie in Japanese) », NASASpaceflight.com (forum), April 2016, disponible à l'adresse suivante : <https://forum.nasaspaceflight.com/index.php?topic=28598.msg1518992#msg1518992> et film disponible à l'adresse suivante : <https://youtu.be/BgLS00PseAA> (consultées le 25 juillet 2018).
- CLARK Stephen, « Attitude control failures led to break-up of Japanese astronomy satellite », SpaceFlightNow.com, 18/04/2016, disponible à l'adresse suivante : <https://spaceflightnow.com/2016/04/18/spinning-japanese-astronomy-satellite-may-be-beyond-saving/> (consultée le 25 juillet 2018).
- « About XRISM », NASA, 4/09/2018, disponible à l'adresse suivante : <https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/xrism/about/> (consultée le 18 septembre 2018).
- GREGERSEN Erik, « Scorpius X-1 », Encyclopaedia Britannica.com, 20/02/2009, disponible à l'adresse suivante : <https://www.britannica.com/topic/Scorpius-X-1> (consultée le 9 juin 2019).
- « Chain of onboard Failures responsible for sending Hitomi Observatory into Deathly Tumble », Spaceflight 101.com, 15/04/2016, disponible à l'adresse suivante : <http://spaceflight101.com/h-ii-a-astro-h/hitomi-failure-chain/> (consultée le 9 juin 2019).
- TRACEY Janey, « JAXA Is "Very Sorry" They'll Never Get the Hitomi Satellite Back », Outerplaces.com, 28/04/2016, disponible à l'adresse suivante :

<https://www.outerplaces.com/science/item/11985-jaxa-acknowledges-they-ll-never-get-the-hitomi-satellite-back> (consultée le 9 juin 2019).

8.2.5 La vision en infra-rouge

- « A window on the cold Universe: the SPICA mission », SPICA.com, 11/06/2018, disponible à l'adresse suivante : <http://www.spica-mission.org/> et <http://www.spica-mission.org/consortium.html> (consultée le 23 juillet 2018).
- FUNAKI I., OGAWA H., ONAKA T., OYABU S., YAMADA T., YAMAMURA I., « Whipe paper for SPICA mission in press - SPICA : a large infrared cryogenic space telescope unveiling the obscured universe », Harvard.edu, 2 February 2018, disponible à l'adresse suivante : <http://adsabs.harvard.edu/abs/2018arXiv180310438R> (consultée le 23 juillet 2018).
- « SPICA (*Space Infrared Telescope for Cosmology and Astrophysics*) », JAXA, disponible à l'adresse suivante : <http://www.isas.jaxa.jp/en/missions/spacecraft/future/spica.html> (consultée le 23 juillet 2018).
- « The Next-Generation Infrared Astronomy Mission - A Space Observatory 1.5 million km away », JAXA, disponible à l'adresse suivante : http://www.ir.isas.jaxa.jp/SPICA/SPICA_HP/index-en.html (consultée le 23 juillet 2018).
- « Report of Facility visit to Centre Spatial de Liège », JAXA, disponible à l'adresse suivante : http://www.ir.isas.jaxa.jp/SPICA/SPICA_HP/SPICA_hot-en.html#pageLink01-028 (consultée le 23 juillet 2018).
- NAKAGAWA Takao (JAXA), « SPICA mission at its beginning -based on Bruce SWINYARD presentation- », UKSSDC (*UK Solar System Data Centre*), 2009, disponible à l'adresse suivante : https://www.ukssdc.ac.uk/BruceSwinyard/images/Presentations/18_spica_bruce_symp_nakagawa.pdf (consultée le 23 juillet 2018).
- GRUPPIONI Carlotta (astrophysicienne italienne ayant réalisé son postdoctorat sur les émissions radio dans l'infrarouge moyen et lointain), « SPICA: A Next-Generation Infrared Astronomy Mission », disponible à l'adresse suivante : http://www.bo.astro.it/~carlotta/charly_web/SPICA.html (consultée le 23 juillet 2018).
- « SPICA, a candidate for the next class M scientific mission of ESA », Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), 10/05/2018, disponible à l'adresse suivante : <http://www.iac.es/divulgacion.php?op1=16&id=1386&lang=en> (consultée le 23 juillet 2018).
- HELMICH Frank, « A joint infrared space observatory: SPICA revised and upgraded for M5 », Netherlands Institute for Space Research, SOFIA Science Centre (Stratospheric Observatory for Infrared Astronomy) disponible à l'adresse suivante : <https://www.sofia.usra.edu/sites/default/files/Helmich.pdf> (consultée le 23 juillet 2018).
- FRANSEN René, « SRON in finals with successor to Herschel satellite », 13 May 2018, University of Groningen, disponible à l'adresse suivante : <https://www.rug.nl/news/2018/05/sron-in-finals-with-successor-to-herschel-satellite?lang=en> (consultée le 23 juillet 2018).

8.2.6 L'innovation résultant d'un échec - La mission *Hiten*

- « Hiten », NASA, disponible à l'adresse suivante : <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraftDisplay.do?id=1990-007A> (consultée le 16 juillet 2018).
- FOUST Jeff, « From chaos, a new order », *The Space Review*, 6/03/2006, disponible à l'adresse suivante : <http://www.thespacereview.com/article/569/1> (consultée le 17 juillet 2018).
- HOHMANN Walter, « The Attainability of Heavenly Bodies », NASA, 11/01/1960 (publié à l'origine en 1925), disponible à l'adresse suivante : https://archive.org/details/nasa_techdoc_19980230631 (consultée le 17 juillet 2018).
- « MUSES-A Hiten and Hagoromo at the Moon », *Spacefaring Japan - Japan Exploring Our Solar System*, disponible à l'adresse suivante : http://www.spacetoday.org/Japan/Japan/MUSES_A_Hiten.html (consultée le 24 juillet 2018).

8.2.7 Les déchets spatiaux (y compris les aspects juridiques) - La mission *Kōnotori 6*

- « List Of The Potentially Hazardous Asteroids ((162173) Ryugu) », *The International Astronomical Union*, disponible à l'adresse suivante : <http://www.minorplanetcenter.net/iau/lists/PHAs.html> (consultée le 21 décembre 2015).
- « Kaguya (Selene) - Kaguya Lunar Impact », JAXA, 10 juin 2009, disponible à l'adresse suivante : http://www.kaguya.jaxa.jp/en/communication/KAGUYA_Lunar_Impact_e.htm (consultée le 15 novembre 2014).
- « Liste des débris spatiaux générés par le tir ASAT chinois de 2007 selon les données du NORAD (North American Aerospace Defense Command) », *CelesTrack.com*, disponible à l'adresse suivante : <http://www.celestrak.com/NORAD/elements/1999-025.txt> (consultée le 26 août 2015).
- « Liste des débris du satellite américain Iridium-33 selon le NORAD (North American Aerospace Defense Command) », *CelesTrack.com*, disponible à l'adresse suivante : <http://www.celestrak.com/NORAD/elements/iridium-33-debris.txt> (consultée le 26 août 2015).
- « Liste des débris du satellite russe Cosmos-2251 selon le NORAD (North American Aerospace Defense Command) », *CelesTrack.com*, disponible à l'adresse suivante : <http://www.celestrak.com/NORAD/elements/cosmos-2251-debris.txt> (consultée le 26 août 2015).
- « Traités et principes des Nations unies relatifs à l'espace extra-atmosphérique - Convention sur la responsabilité internationale pour les dommages causés par les objets spatiaux - Convention sur l'immatriculation des objets lancés dans l'espace extra-atmosphérique », Nations unies, New York, 2002, disponible à l'adresse suivante : <http://www.unoosa.org/pdf/publications/STSPACE11F.pdf> (consultée le 29 juin 2018).
- « ISO 24113 Space Debris Mitigations Standards Requirements - Japan », UNOOSA (United Nations Office for Outer Space Affairs), disponible à l'adresse suivante : <http://www.unoosa.org/documents/pdf/spacelaw/sd/Japan.pdf> (consultée le 29 juin 2018).
- *Inter-Agency Space Debris Coordination Committee*, disponible à l'adresse suivante : <http://www.iadc-online.org/> (consultée le 24 juillet 2015).
- *Inter-Agency Space Debris Coordination Committee (Member Agencies)*, disponible à l'adresse suivante : <https://www.iadc-online.org/index.cgi?item=members> (consultée le 10 septembre 2018).
- « Space Situational Awareness (SSA) System », JAXA, disponible à l'adresse suivante : <http://global.jaxa.jp/activity/pr/brochure/files/engineering06.pdf> (consultée le 29 juin 2018).

- ADACHI Gaku, OHNISHI Takafumi, KAMEYAMA Masaya (members of JAXA), « Achievements on Space Debris Observations », FUJITSU Sci. Tech. J. Vol. 53 n°. 3, April 2017, disponible à l'adresse suivante : <http://www.fujitsu.com/global/documents/about/resources/publications/fstj/archives/vol53-3/paper08.pdf> (consultée le 4 juillet 2018).
- ONISHI Mitsuru, « Overview of JAXA's Research for Comprehensive Measures on Space Debris », COPUOS, 2 February 2017, disponible à l'adresse suivante : <http://www.unoosa.org/documents/pdf/copuos/stsc/2017/tech-20E.pdf> (consultée le 5 juillet 2018).
- DVORSKY George, « A Japanese Effort to Remove Hazardous Space Junk Has Failed », AFP via The Guardian, 2 June 2017, disponible à l'adresse suivante : <https://gizmodo.com/a-japanese-effort-to-remove-hazardous-space-junk-has-fa-1792040971> (consultée le 5 juillet 2018).
- CLARK Stephen, « Japanese cargo ship ends mission after space debris experiment flounders », SpaceFlightNow.com, 6/02/2017, disponible à l'adresse suivante : <https://spaceflightnow.com/2017/02/06/japanese-cargo-ship-ends-mission-after-space-debris-experiment-flounders/> (consultée le 25 juillet 2018).
- « Japan goes fishing for space junk but 700-metre 'tether' fails - Mission to clear up Earth's orbit ends after device created with a fishing net company fails to deploy », The Guardian.com, 6/02/2017, disponible à l'adresse suivante : <https://www.theguardian.com/science/2017/feb/06/japans-space-junk-mission-700-metre-tether-fails> (consultée le 5 juillet 2018).
- « STARS-2 (Space Tethered Autonomous Robotic Satellite-2) », eo Portal Directory (Sharing Earth Observation Resources), disponible à l'adresse suivante : <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/s/stars-2> (consultée le 13 juillet 2018).
- « Solving the problem of space debris - Protecting our space environment », JAXA, 26th April 2017, disponible à l'adresse suivante : <http://global.jaxa.jp/article/2017/special/debris/> (consultée le 29 juin 2018).
- MATSUURA Mayumi (Project Manager Space Situation Awareness System), « Preventing collisions between debris and spacecrafts », JAXA, 26/04/2017, disponible à l'adresse suivante : <http://global.jaxa.jp/article/2017/special/debris/matsuura.html> (consultée le 25 juillet 2018).
- OKADA Nobu (Founder and CEO of ASTROSCALE), « Harnessing the Power of the Private Sector to Clean Up Space Junk », JAXA, 26/04/2017, disponible à l'adresse suivante : <http://global.jaxa.jp/article/2017/special/debris/okada.html> (consultée le 25 juillet 2018).
- « ASTROSCALE and JAXA Conclude Joint Agreement to Counteract Space Debris », JAXA, 12th September 2017, disponible à l'adresse suivante : http://global.jaxa.jp/press/2017/09/20170912_elsa-d.html (consultée le 29 juin 2018).
- NISHIDA Michiru (Ministry of Foreign Affairs of Japan), « Global Efforts to Deal with the Problem of Space Debris », JAXA, 26/04/2017, disponible à l'adresse suivante : <http://global.jaxa.jp/article/2017/special/debris/nishida.html> (consultée le 25 juillet 2018).
- DAMINOS Franck, « L'ISS va cartographier les micro-débris spatiaux », Sciences et Avenir, 1/12/2017, disponible à l'adresse suivante : https://www.sciencesetavenir.fr/espace/l-iss-va-cartographier-les-micro-debris-spatiaux_118792 (consultée le 27 juillet 2018).
- TANGUY Vincent, « Les technologies de pointe pour en finir avec les débris spatiaux », Sciences et Avenir, 13/09/2017, disponible à l'adresse suivante : https://www.sciencesetavenir.fr/espace/les-technologies-de-pointe-pour-en-finir-avec-les-debris-spatiaux_116267 (consultée le 26 juillet 2018).

- HAMILTON Joseph, « Space Debris Sensor (SDS) », NASA, 18/04/2018, disponible à l'adresse suivante : https://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/experiments/2145.html (consultée le 26 juillet 2018).
- SLANE Frederick A., ISO Space standards, Unoosa.org, 14 February 2013, disponible à l'adresse suivante: <http://www.unoosa.org/pdf/pres/stsc2013/2013lts-02E.pdf> (consultée le 10 septembre 2018).
- ISO 24113:2011 -Space systems, Space debris mitigation requirements, iso.org, disponible à l'adresse suivante : <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:57239:en> (consultée le 10 septembre 2018).
- « Space debris », ASTROSCALE, disponible à l'adresse suivante : <http://astroscale.com/about> (consultée le 18 septembre 2018).
- HENRI Caleb, « Astroscale's Chris Blackerby aims to turn a profit by cleaning up space », Spacenews.com, 14/07/2017, disponible à l'adresse suivante : <https://spacenews.com/qa-astrocales-chris-blackerby-on-turning-a-profit-by-cleaning-up-space2/> (consultée le 30 novembre 2018).
- « IDEA OSG 1 », Gunter's space page, disponible à l'adresse suivante : https://space.skyrocket.de/doc_sdat/idea-osg.htm (consultée le 30/11/2018).
- GRAHAM William, « Soyuz 2-1B launch with Meteor-M ends in apparent Fregat-M failure », NASA Spaceflight.com, 27/11/2017, disponible à l'adresse suivante : <https://www.nasaspaceflight.com/2017/11/soyuz-2-1b-launch-meteor-m/> (consultée le 30 novembre 2018).
- KRAMER Miriam, « It looks like a Russian space mission failed on Tuesday, jeopardizing multiple satellites », mashable.com, 28/11/2017, disponible à l'adresse suivante : <https://mashable.com/2017/11/28/russian-rocket-soyuz-weather-satellite-failure/?europa=true> (consultée le 30 novembre 2018).
- NYIRADY Annamarie, « SSTL Ships Satellite for Astroscale's ELSA-d Mission », Via Satellite, 8/11/2019, disponible à l'adresse suivante: <https://www.satellitetoday.com/launch/2019/11/08/sstl-ships-satellite-for-astrocales-elsa-d-mission/> (consultée le 8 décembre 2019).
- International Academy of Astronautics, « A Handbook for Post-Mission Disposal of Satellites Less Than 100 kg », edited by Rei KAWASHIMA and Darren MCKNIGHT , May 2019, disponible à l'adresse suivante : <http://www.iaaweb.org/iaa/Scientific%20Activity/sg423finalreport.pdf> (consultée le 25 juin 2019).
- « Frequently asked questions on space debris answered by the team at ESA's Space Debris Office », ESA, disponible à l'adresse suivante: http://www.esa.int/Safety_Security/Space_Debris/FAQ_Frequently_asked_questions (consultée le 11 novembre 2019).
- « ESA workshop on Space debris (19-21 March 2019) », ESA, disponible à l'adresse suivante: http://www.esa.int/About_Us/ECSL_European_Centre_for_Space_Law/2019_ESA-ECSL_Workshop_on_Space_Debris (consultée le 11 novembre 2019).

8.2.8 La voile solaire *Ikaros* - La sonde *Akatsuki* (mission vers Vénus)

- DE AMORIN Jimmy, BLERON Alexandre et FOURET Julien, « Les moyens de propulsion dans l'espace », 2007, disponible à l'adresse suivante : <http://spaceconquest.pagesperso-orange.fr/Propulsion.htm> (consultée le 15 novembre 2014).
- « What's new (2015) », JAXA, disponible à l'adresse suivante: <http://global.jaxa.jp/news/2015/#news4589> (consultée le 5 juillet 2018).

- « Small Solar Power Sail Demonstrator IKAROS », JAXA, disponible à l'adresse suivante : http://global.jaxa.jp/countdown/f17/overview/ikaros_e.html (consultée le 5 juillet 2018).
- « IKAROS enters hibernation mode for 5th time », JAXA, disponible à l'adresse suivante : <http://global.jaxa.jp/projects/sat/ikaros/topics.html#topics4743> (consultée le 5 juillet 2018).
- HOWELL Elizabeth, « Ikaros: First Successful Solar Sail », Space.com, 7/05/2014, disponible à l'adresse suivante: <https://www.space.com/25800-ikaros-solar-sail.html> (consultée le 5 juillet 2018).
- FROHN Olaf, « A diagram of active space missions traveling beyond Earth orbit, July 2018 », The Planetary Society, disponible à l'adresse suivante : <http://www.planetary.org/multimedia/space-images/charts/whats-up-in-the-solar-system-frohn.html> (consultée le 6 juillet 2018).
- FROHN Olaf, « A diagram of active space missions traveling beyond Earth orbit, July 2019 », The Planetary Society, disponible à l'adresse suivante : <http://www.planetary.org/multimedia/space-images/charts/whats-up-in-the-solar-system-frohn.html> (consultée le 6 décembre 2019).
- KEETER Bill, « NASA Scientists Applaud Japanese Spacecraft Akatsuki's Successful Rendezvous with Venus », NASA, 7/08/2017, disponible à l'adresse suivante : <https://www.nasa.gov/feature/nasa-scientists-applaud-japanese-spacecraft-akatsuki-s-successful-rendezvous-with-venus> (consultée le 25 juillet 2018).
- « Venus Climate Orbiter Akatsuki », JAXA, 25/07/2018, disponible à l'adresse suivante : <http://akatsuki.isas.jaxa.jp/en/> (consultée le 25 juillet 2018).
- « Why explore Venus? », JAXA, disponible à l'adresse suivante : <http://akatsuki.isas.jaxa.jp/en/mission/reason/> (consultée le 25 juillet 2018).
- DECOURT Rémy, « La sonde Akatsuki arrive autour de Vénus... avec cinq ans de retard », Futurasciences.com, 10/12/2015, disponible à l'adresse suivante : <https://www.futura-sciences.com/sciences/actualites/akatsuki-sonde-akatsuki-arrive-autour-venus-cinq-ans-retard-60784/> (consultée le 1^{er} novembre 2018).
- « Internet Investor and science philanthropist Yuri Milner & Physicist Stephen Hawking announce Breakthrough Starshot Project to develop 100 million mile per hour mission to the stars within a generation », Breakthrough.org, 12 April 2016, disponible à l'adresse suivante: <https://breakthroughinitiatives.org/news/4> (consultée le 6 juin 2019).
- « The success of the Breakthrough Starshot mission to Proxima b may be more important than we think », Techort.com, April 2017, disponible à l'adresse suivante: <http://www.techort.com/the-success-of-the-breakthrough-starshot-mission-to-proxima-b-may-be-more-important-than-we-think/> (consultée le 4 juillet 2019).
- DAUKANTAS Patricia, « Breakthrough Starshot », Optics & Photonics News, May 2017, disponible à l'adresse suivante: https://www.osa-opn.org/home/articles/volume_28/may_2017/features/breakthrough_starshot/ (consultée le 4 juillet 2019).
- WILLIAMS Mat, « A Novel Concept for Braking Breakthrough Starshot », Universe Today, February 2017, disponible à l'adresse suivante: <https://www.universetoday.com/133173/novel-concept-braking-breakthrough-starshot/> (consultée le 4 juillet 2019).
- « Breakthrough Starshot: the smallest satellite ever built! », Quasar Descent blog, 29 September 2017, disponible à l'adresse suivante: <https://quasardescent.blogspot.com/2017/09/breakthrough-starshot-smallest.html> (consultée le 4 juillet 2019).
- Anderton Kevin, « How Starshot Plans To Get Spacecraft To Alpha Centauri », Forbes, 13 April 2016, disponible à l'adresse suivante:

<https://www.forbes.com/sites/kevinanderton/2016/04/13/travel-to-another-solar-system-now-possible-infographic/#1822ba9477e2> (consultée le 4 juillet 2019).

- Brisson Pierre, « Breakthrough Starshot une organisation d'aujourd'hui pour relever le défi du futur », Exploration spatiale - Le Blog de Pierre Brisson, 4 janvier 2017, disponible à l'adresse suivante : https://blogs.letemps.ch/pierre-brisson/2017/01/04/blog_77_breakthrough-starshot-une-organisation-daujourd'hui-pour-relever-le-defi-du-futur/ (consultée le 4 juillet 2019).

8.2.9 La propulsion ionique - Les sondes *Hayabusa* et le micro-satellite *Tsubame*

- « Curation Hayabusa - Hayabusa Asteroid Itokawa Samples », NASA, 1/09/2016, disponible à l'adresse suivante : <https://curator.jsc.nasa.gov/hayabusa/> (consultée le 16 juillet 2019).
- « Hayabusa-2 Rendezvous with Ryugu », JAXA, 27/06/2018, disponible à l'adresse suivante: http://global.jaxa.jp/press/2018/06/20180627_hayabusa2.html (consultée le 10 juillet 2018).
- « La sonde Hayabusa 2 est arrivée à sa cible, l'astéroïde Ryugu », Science et Avenir, Franck Daninos, 27/06/2018, disponible à l'adresse suivante : https://www.sciencesetavenir.fr/espace/la-sonde-hayabusa-2-est-arrivee-a-sa-cible-l-asteroide-ryugu_125104 (consultée le 11 juillet 2018).
- « Test Satellite "TSUBAME" (SLATS) », JAXA, 1/06/2018, disponible à l'adresse suivante: <http://global.jaxa.jp/projects/sat/slats/> (consultée le 9 juillet 2018).
- « Super Low Altitude Test Satellite "TSUBAME" (SLATS) », JAXA, 1/06/2018, disponible à l'adresse suivante : <http://global.jaxa.jp/activity/pr/brochure/files/sat37.pdf> (consultée le 24 juillet 2018).
- « Operational Update, Super Low Altitude Test Satellite (SLATS) », JAXA, 1/06/2018, disponible à l'adresse suivante: http://global.jaxa.jp/press/2018/06/20180601_slats.html (consultée le 24 juillet 2018).
- GOYA Chisato, « Voici les principales missions spatiales à suivre en 2017 », Businessinsider.fr, 22/06/2017, disponible à l'adresse suivante : <http://www.businessinsider.fr/voici-les-principales-missions-explorations-spatiale-a-suivre-2017> (consultée le 27 juillet 2018).
- « Deux robots japonais se promènent désormais sur l'astéroïde Ryugu et réalisent d'étonnants clichés », Dailygeekshow.com, 25/09/2018, disponible à l'adresse suivante : https://dailygeekshow.com/sonde-asteroide-ryugu-hayabusa-2-exploration-robot/?utm_source=newsletter&utm_medium=e-mail&utm_campaign=Newsletter_Journaliere_2018-09-25 (consultée le 27 septembre 2018).
- JAXA, « MINERVA-II1: Successful image capture, landing on Ryugu and hop! », 22/09/2018, disponible à l'adresse suivante : <http://www.hayabusa2.jaxa.jp/en/topics/20180922e/> (consultée le 27 septembre 2018).
- « List of minor planets: 5001-6000 », Infogalactic.com, disponible à l'adresse suivante: http://infogalactic.com/info/List_of_minor_planets:5001%E2%80%936000#401 (consultée le 2 décembre 2018).
- « 10385 Amaterasu (1996 TL12) », NASA Jet Propulsion Laboratory Small-Body Database Browser, disponible à l'adresse suivante: <https://ssd.jpl.nasa.gov/sbdb.cgi?sstr=10385> (consultée le 14 mars 2019).
- « Tsubame Transition to Orbit Keeping Operations », JAXA, 28/03/2019, disponible à l'adresse suivante : <https://global.jaxa.jp/press/2019/03/20190318a.html> (consultée le 23 juillet 2019).
- « SLATS (Super Low Altitude Test Satellite) / Tsubame », ESA, Earth Observation Portal Directory (eaPortal News), disponible à l'adresse suivante: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/s/slats> (consultée le 23 juillet 2019).

- MINAKOSHI Kazuya, « The Shinkansen was visible from space! I tried shooting the Kyushu Shinkansen "Tsubame" from the artificial satellite "Tsubame" », trafficnews.jp, 31/08/2019, disponible à l'adresse suivante: <https://trafficnews.jp/post/89251> (consultée le 15 octobre 2019).

8.2.10 Les effets pervers de l'innovation - La mission *Hitomi*

- SIMON Marie, « Espace: la mystérieuse disparition du satellite Hitomi », l'express.fr, 04/04/2016, disponible à l'adresse suivante : https://www.lexpress.fr/actualite/sciences/espace-la-mysterieuse-disparition-du-satellite-hitomi_1779293.html (consultée le 26 juin 2018).

8.2.11 Le transfert sur Terre de l'énergie solaire

- « Japanese company proposes to build solar power cells on the Moon to provide clean energy to Earth », Space Industry News, disponible à l'adresse suivante: <http://spaceindustrynews.com/japanese-company-proposes-to-build-solar-power-cells-on-the-moon-to-provide-clean-energy-to-earth/> (consulté le 26 juin 2018).
- TREGOUËT René (sénateur honoraire et fondateur du groupe de prospective du Sénat français), « Le Japon veut construire une centrale solaire spatiale », Notre-planete.info, 22/10/2009, disponible à l'adresse suivante : http://www.notre-planete.info/actualites/actu_2146_centrale_solaire_spatiale.php (consultée le 21 août 2015).
- « Research on the Space Solar Power Systems (SSPS) », JAXA, disponible à l'adresse suivante: <http://www.kenkai.jaxa.jp/eng/research/ssps/hmi-faq.html> (consultée le 20 mars 2019).
- « Japan plans giant solar power station in space », The Telegraph, 2009, disponible à l'adresse suivante: <https://www.telegraph.co.uk/news/earth/energy/solarpower/6536752/Japan-plans-solar-power-station-in-space.html> (consultée le 18 juillet 2019).

8.2.12 Le Japon : aspects militaires, politiques et diplomatiques

- Université Laval (Canada) : « L'aménagement linguistique dans le monde - Histoire de la Corée - Des origines jusqu'en 1948 », Jacques Leclerc : <http://www.axl.cefan.ulaval.ca/asie/coree-histoire.htm> (consultée le 10 avril 2018)
- HELLENDORF Bruno, « Dépenses militaires en Asie Orientale - conflits territoriaux et risques de dérapage » - Note d'analyse du GRIP, 18 décembre 2015 : http://www.grip.org/sites/grip.org/files/NOTES_ANALYSE/2015/NA_2015-12-18_FR_B-HELLENDORFF.pdf (consultée le 10 avril 2018)
- KOTANI Tetsuo, « What is Japan's Shangri-La Dialogue Initiative? », The Asia Maritime Transparency Initiative and The Center for Strategic and International Studies, June 2015 : <https://amti.csis.org/what-is-japans-shangri-la-dialogue-initiative/> (consultée le 10 avril 2018)
- « National Security Strategy 2013 », Japanese Ministry of Defence, 17 December 2013 : http://japan.kantei.go.jp/96_abe/documents/2013/_icsFiles/afieldfile/2013/12/17/NSS.pdf, (consultée le 12 septembre 2018).
- « Fiche d'information de l'État : Japon », ROP (Réseau de recherche sur les opérations de paix), Université de Montréal, Asher S. de Sadeleer, décembre 2013 : <http://www.operationspaix.net/92-fiche-d-information-de-l-etat-japon.html> (consultée le 10 avril 2018)
- BORER Louis-Arthur et PFIMLIN Edouard, « Le Japon dans son environnement géostratégique », 6 avril 2015 : <http://www.diploweb.com/Le-Japon-dans-son-environnement.html> (consultée le 10 avril 2018)

- DE LA GRANGE Arnaud, « Les dix clés du contentieux sino-japonais », Le Figaro.fr, 10 décembre 2012 : <http://www.lefigaro.fr/international/2012/09/27/01003-20120927ARTFIG00670-les-dix-cles-du-contentieux-sino-japonais.php> (consultée le 10 avril 2018)
- BLONDIAUX Loïc, « Ces îles que le Japon revendique », Perspectives géopolitiques, 30 juillet 2009 : <https://perspectivesgeopolitiques.wordpress.com/2009/07/30/ces-iles-que-le-japon-revendique/> (consultée le 10 avril 2018)
- MAMPAEY Luc et STIERNON Christophe, « Dépenses militaires, production et transferts d'armes - Compendium 2016 », Les rapports du GRIP, 2016/8, disponible à l'adresse suivante : https://www.grip.org/sites/grip.org/files/RAPPORTS/2016/Rapport_2016-8.pdf (consultée le 22 mai 2017).
- MAMPAY LUC et STIERNON Christophe, « Dépenses militaires, production et transferts d'armes - Compendium 2018 », Les rapports du GRIP, 2018/3, disponible à l'adresse suivante : https://www.grip.org/sites/grip.org/files/RAPPORTS/2018/Rapport_2018-3.pdf (consultée le 29 avril 2019).
- FENG Zhang, « The Tianxia System : World Order in a Chinese Utopia », China Heritage Quarterly nr 21, March 2010, disponible à l'adresse suivante : http://www.chinaheritagequarterly.org/tien-hsia.php?searchterm=021_utopia.inc&issue=021 (consultée le 10 avril 2018)
- « The Chinese concept of Empire : All-Under-Heaven », Understanding Modern China, 14/02/2014, disponible à l'adresse suivante : <https://uosm2018.wordpress.com/2014/02/14/the-chinese-concept-of-empire-all-under-heaven/> (consultée le 10 avril 2018)
- GAUTHIER Ursula, « Tianxia, le concept politique venu de Chine », L'Observateur n°2786, 29/03/2018.
- « Un tournant pour le système de défense et de sécurité du Japon », Nippon.com, 30 septembre 2015, disponible à l'adresse suivante : <http://www.nippon.com/fr/features/I00128/?pnum=1> (consultée le 7 novembre 2016).
- COCAULT Carole et FLAMANT Camille, « Les îles Senkaku/Diaoyu, l'archipel de la discorde », Classe internationale, 30/11/2015, disponible à l'adresse suivante : <https://classe-internationale.com/2015/11/30/les-iles-senkakudiaoyu-larchipel-de-la-discorde/> (consultée le 7 novembre 2016).
- « Le Japon s'arme contre la Chine » - Europe 1 le JDD.fr, 16/02/2018, disponible à l'adresse suivante : <http://www.lejdd.fr/international/asie/le-japon-sarme-contre-la-chine-3572162> (consultée le 14 avril 2018).
- LAGNEAU Laurent, « Le Japon proteste contre l'incursion d'un sous-marin nucléaire chinois près des îles Senkaku », Zone militaire, 16/01/2018, disponible à l'adresse suivante : <http://www.opex360.com/2018/01/16/japon-proteste-contre-lincursion-dun-marin-nucleaire-chinois-pres-iles-senkaku/> (consultée le 14 avril 2018).
- ANKIT Panda , « Chinese frigate, unidentified submarine enter Japan-claimed waters near Senkaku islands », TheDiplomat.com, , 12/01/2018, disponible à l'adresse suivante : <https://thedi diplomat.com/2018/01/chinese-frigate-unidentified-submarine-enter-japan-claimed-waters-near-senkaku-islands/> (consultée le 14 avril 2018).
- « The Fifteenth Japan-ASEAN Summit 2012 », Ministry of Foreign Affairs of Japan, 19 November 2012, disponible à l'adresse suivante : https://www.mofa.go.jp/region/asia-paci/asean/j_asean_mpm.html (consultée le 23 juillet 2018).
- « Visit of the State Minister for Internal Affairs and Communications of Japan », The AHA Centre - Home of one ASEAN one Response, 2 May 2017, disponible à l'adresse suivante : <https://ahacentre.org/news/visit-from-the-state-minister-for-internal-affairs-and-communications-of-japan/> (consultée le 23 juillet 2018).

- « National Security Strategy (NSS) », Ministry of Foreign Affairs of Japan, disponible à l'adresse suivante : https://www.mofa.go.jp/fp/nsp/page1we_000081.html (consultée le 30 août 2018).
- MESMER Philippe, « La population du Japon poursuit son inquiétant déclin », Le monde.fr, 9/01/2018, disponible à l'adresse suivante: https://www.lemonde.fr/asiе-pacifique/article/2018/01/09/la-population-du-japon-poursuit-son-inquietant-declin_5239130_3216.html (consultée le 1^{er} novembre 2018).
- « Annual White Paper - Defense of Japan 2009 », Ministry of Defense, disponible à l'adresse suivante : http://www.mod.go.jp/e/publ/w_paper/pdf/2009/20Part2_Chapter1_Sec4.pdf (consultée le 1^{er} novembre 2018).
- « List of Ministers and State Ministers at the Cabinet Office », Cabinet Office, disponible à l'adresse suivante : <https://www.cao.go.jp/en/minister/index.html> (consultée le 22 mars 2019).
- « The Cabinet's Office Role in the Cabinet », Cabinet Office, disponible à l'adresse suivante : https://www.cao.go.jp/en/pmf_index-e.html (consultée le 22 mars 2019).
- « Le nouveau livre blanc (2017) de la défense », DSI, Areion 24 news, Mai 2017, disponible à l'adresse suivante : <https://ceis.eu/wp-content/uploads/2017/05/DSI129-48-56.pdf> (consultée le 26 avril 2019).
- « Le livre blanc 2017 de la défense du Japon », Ministère de la défense du Japon, disponible à l'adresse suivante : https://www.mod.go.jp/e/publ/w_paper/pdf/2017/DOJ2017_Digest_FR.pdf (consultée le 26 avril 2019).
- « Le livre blanc 2018 de la défense du Japon », Ministère de la défense du Japon, disponible à l'adresse suivante : https://www.mod.go.jp/e/publ/w_paper/pdf/2018/DOJ2018_Digest_FR.pdf (consultée le 26 avril 2019).
- BITZINGER Richard A., « Le Japon renforce finalement son armée », Magazine DSI (Défense et Sécurité Internationale), Areion 24 news, 23/04/2019, disponible à l'adresse suivante : <https://www.areion24.news/2019/04/23/le-japon-renforce-finalement-son-armee/> (consultée le 26 avril 2019).
- « Le "Livre blanc (2018) de la défense" japonais met l'accent sur les menaces pour la sécurité régionale », Xianhuanews (Chine), 29/08/2018, disponible à l'adresse suivante : http://french.xinhuanet.com/2018-08/29/c_137426079.htm (consultée le 26 avril 2019).

8.2.13 Le Japon : la culture et la mythologie

- « Dictionnaire sensAgent », le Parisien.fr, disponible à l'adresse suivante : <http://dictionnaire.sensagent.leparisien.fr/M%C3%A9thode%20Hepburn/fr-fr/> (consultée le 5 mars 2019).
- « Système de translittération Hepburn », translittération, disponible à l'adresse suivante : <https://www.transliteration.com/transliteration/fr/japonais/hepburn/> (consultée le 5 mars 2019).
- HASHI, « How can Romaji ruin your day? - Maybe you should just learn actual Japanese », Tofugu.com, 21/06/2012, disponible à l'adresse suivante : <https://www.tofugu.com/japanese/romaji/> (consultée le 5 mars 2019).
- « Japanese proverbs dictionary », Language Realm, disponible à l'adresse suivante: http://www.languagerealm.com/japanese/japaneseproverbs_ko.php, consulté le 22 juin 2018.
- « Matcha or Maccha ? », Jagasilk, disponible à l'adresse suivante : <http://jagasilk.com/maccha-or-matcha/> (consultée le 19 mars 2019).
- « Dictionnaire jisho », disponible à l'adresse suivante : <https://jisho.org/> (consultée le 14 mars 2019).
- « Tohoku Shinkansen », JR East Japan Railway Company, disponible à l'adresse suivante: <http://www.jreast.co.jp/e/routemaps/tohokushinkansen.html> (consultée le 11 juillet 2018).
- SAUSSE Frédéric, « Le Chrysanthème et le Sabre (Digest) - Le Code d'honneur du Japon », Le journal de la Cité Internationale Universitaire de Paris, 3 mai 2016, disponible à l'adresse

suivante : <http://saga6t.over-blog.com/2016/05/le-chrysantheme-et-le-sabre-digest-le-code-de-l-honneur-du-japon.html> (consultée le 20 août 2018).

- MAZOUZI Dahmane, « Les japonais, un peuple pas vraiment comme les autres », Globbe Trotter - Le tour du monde d'un être curieux (blog), disponible à l'adresse suivante: https://www.saphirnews.com/Globe-Trotter/Les-Japonais-un-peuple-vraiment-pas-comme-les-autres_a10.html (consultée le 31 mai 2018).
- AFFERGAN Francis, « Le Japon à fronts renversés. Stoetzel *versus* Benedict », Cairn.info, disponible à l'adresse suivante : <https://www.cairn.info/revue-l-annee-sociologique-2012-1-page-23.htm> (consultée le 19 septembre 2018).
- PRESTEAU Jacques, blog Dico Zen, disponible à l'adresse suivante: <http://jacques.presteau.pagesperso-orange.fr/dicozen/m.htm> (consultée le 19 septembre 2018).
- The editors of Encyclopaedia Britannica, « Kana », britannica.com, disponible à l'adresse suivante: <https://www.britannica.com/topic/kana> (consultée le 2 décembre 2018).
- GARCIA Gloria, « Japanese cultural values in business relationships », Elcano Royal Institute, 16 June 2015, disponible à l'adresse suivante : http://www.realinstitutoelcano.org/wps/portal/rielcano_en/contenido?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/elcano/elcano_es/zonas_es/asia-pacifico/ari29-2015-garcia-japanese-cultural-values-business-relationships (consultée le 20/12/2018).
- ABE Namiko, « Giri - Moral obligation », ThoughtCo., 15/06/2018, disponible à l'adresse suivante : <https://www.thoughtco.com/giri-moral-obligation-2028017> (consultée le 13/03/2019).
- GARCIA Gloria, « Japanese cultural values in business relationships », Elcano Royal Institute, 16/05/2015, disponible à l'adresse suivante: http://www.realinstitutoelcano.org/wps/portal/rielcano_en/contenido?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/elcano/elcano_es/zonas_es/asia-pacifico/ari29-2015-garcia-japanese-cultural-values-business-relationships (consultée le 5 janvier 2019).
- « Comprendre la culture du Japon pour réussir en affaires et négociation », ISD (International Strategic Development) Community, 11/03/2019, disponible à l'adresse suivante : <https://www.isd-community.com/mondialisation-et-ntic/dossier-japon/> (consultée le 15 mars 2019).
- HASHI Hisaki (professor of philosophy at University of Vienna, Austria), « The Significance of “mushin” (無心): The Essential Mind of Zen Buddhist Philosophy for Humans in a Contemporary World », in *Asian Studies IV* (XX), 1 (2016), pp. 97–112, disponible à l'adresse suivante : <https://revije.ff.uni-lj.si/as/article/download/4181/5943/> (consultée le 12 juin 2019).
- THELE Andreas, « Les pièges du monde japonais : splendeurs et misères de la communication au Soleil levant » pp. 127-145 in SERVAIS Paul, « La traduction entre Orient et Occident - Modalités, difficultés et enjeux », éditions Academia, janvier 2012, 172 p., disponible à l'adresse suivante : <https://orbi.uliege.be/handle/2268/224795> (consultée le 21 juin 2019).
- THELE Andreas, « Sérénité et culture du principe vital: conceptions philosophiques du bien-être dans la pensée japonaise », 2nd International Conference of the ENOPJ (European Network of Japanese Philosophy) at ULB, 9/12/2016, disponible à l'adresse suivante : <https://orbi.uliege.be/handle/2268/225200> (consultée le 21 juin 2019).
- GARCIA Gloria, « Japanese cultural values in business relationships », Elcano Royal Institute, 16 June 2015, disponible à l'adresse suivante: http://www.realinstitutoelcano.org/wps/portal/rielcano_en/contenido?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/elcano/elcano_es/zonas_es/asia-pacifico/ari29-2015-garcia-japanese-cultural-values-business-relationships (consultée le 10 janvier 2019).

- YONEYAMA Etsuo, « Culture et gestion au Japon : harmonie, sérénité et rigueur », dans Eduardo Davel, Jean-Pierre Dupuis et Jean-François Chanlat (dir.), Gestion en contexte interculturel : approches, problématiques, pratiques et plongées, Québec, Presses de l'Université Laval et Télé-université (UQAM), 2008, disponible à l'adresse suivante : http://asl.univ-montp3.fr/e41slym/culture_gestion/JAPON_culture_et_gestion.pdf (consultée le 5 août 2019).
- KAWASAKI Ken, « The Concepts of Science in Japanese and Western Education », Kochi University, Science & Education Vol.5 No.1, 1996, pp.1-20, disponible à l'adresse suivante : <https://core.ac.uk/download/pdf/70351579.pdf> (consultée le 5 octobre 2019).
- SUGIMOTO Masayoshi and SWAIN David L., « Science and culture intraditional Japan : A.D. 600-1854 », Review by Nanzan Institute for Religion and Culture (南山宗教文化研究所), Japanese Journal of Religious Studies 5/4 December 1978, disponible à l'adresse suivante : <https://nirc.nanzan-u.ac.jp/nfile/3050> (consultée le 27 novembre 2019).

8.2.14 L'espace : le Japon

- JAXA (Agence Spatiale Japonaise), disponible à l'adresse suivante : <http://global.jaxa.jp/> (consultée le 15 novembre 2014).
- Basic Plan of Space Policy, JAXA, 25/06/2013, disponible à l'adresse suivante : <http://www8.cao.go.jp/space/plan/plan-eng.pdf> (consultée le 29 juin 2018).
- Loi créant la JAXA (Law concerning Japan aerospace exploration agency - Law nr 161 of 13th December 2002), disponible à l'adresse suivante : http://global.jaxa.jp/about/law/law_e.pdf (consultée le 29 juin 2018).
- « Permanent Mission of Japan to the International Organizations in Vienna - Outer Space », The International Organizations in Vienna, disponible à l'adresse suivante, http://www.vie-mission.emb-japan.go.jp/itpr_en/outerspace_en.html (consultée le 20 juillet 2018).
- « Ministry of Foreign Affairs of Japan - Outer Space », Ministry of Foreign Affairs of Japan, https://www.mofa.go.jp/policy/page3e_000024.html (consultée le 20 juillet 2018).
- « Ministry of Foreign Affairs of Japan - Outer Space », Japan's Space Diplomatic Policy, Ministry of Foreign Affairs of Japan, https://www.mofa.go.jp/policy/outer_space/pdfs/space_diplomatic_policy.pdf (consultée le 20 juillet 2018).
- « Ministry of Foreign Affairs of Japan - Outer Space », Establishment of a Space Policy Division, Ministry of Foreign Affairs of Japan, https://www.mofa.go.jp/policy/outer_space/pdfs/space_policy_division.pdf (consultée le 20 juillet 2018).
- MENEZES Alroy, International Business Times : « Japan's 'Space Force' To Protect Satellites In Orbit », 8/04/2014, disponible à l'adresse suivante : <http://www.ibtimes.com/japans-space-force-protect-satellites-orbit-1647692> (consultée le 8 mai 2017).
- KOMIZO Yasuyoshi, Loi spatiale japonaise de 2008, UNOOSA, disponible aux adresses suivantes : <http://www.unoosa.org/pdf/pres/lsc2009/pres-09.pdf> et <http://stage.tksc.jaxa.jp/spacelaw/country/japan/27A-1.E.pdf> (consultées le 13 juillet 2018).
- HAYS Jeffrey, « Japanese space programme : astronauts, Moon and asteroid probes, Kibō and the H-2 Transer vehicle », Facts and Details, January 2013, disponible à l'adresse suivante : <http://factsanddetails.com/japan/cat26/sub163/item876.html> (consulté le 26 juin 2018)
- « Le retour sur terre de Kiribo, le 1^{er} astronaute robot androïde japonais », Sciences et Avenir, 16/02/2015, à l'adresse suivante : https://www.sciencesetavenir.fr/espace/retour-sur-terre-de-kiribo-le-1er-astronaute-robot-androïde-japonais_34483 (consulté le 26 juin 2018).
- « L'espace japonais », Capcom Espace, disponible à l'adresse suivante : <https://www.capcomespace.net/dossiers/japon/tanegashima.htm> (consultée le 3 juillet 2018).

- « Tanegashima: Surfs Up », Once a traveler, 9 août 2009, disponible à l'adresse suivante : <http://www.onceatraveler.com/tanegashima-surfs-up> (consultée le 3 juillet 2018).
- « Centre spatial de Tanegashima », Wikipedia, disponible à l'adresse suivante : https://fr.wikipedia.org/wiki/Programme_spatial_japonais (consultée le 3 juillet 2018).
- « Tanegashima Space Center », JAXA, disponible à l'adresse suivante : <http://global.jaxa.jp/about/centers/tnsc/index.html> (consultée le 3 juillet 2018).
- « Ōchinura Space Center », JAXA, disponible à l'adresse suivante : <http://global.jaxa.jp/about/centers/usc/index.html> (consultée le 3 juillet 2018).
- « Tsukuba Space Center », JAXA, disponible à l'adresse suivante : <http://global.jaxa.jp/about/centers/tksc/index.html> (consultée le 3 juillet 2018).
- « International Space Flight (ESA, Russia, China and others) - Japanese Launchers », NASA Spaceflight.com (forum on space activities), disponible à l'adresse suivante : <https://forum.nasaspaceflight.com/index.php?PHPSESSID=g6imtmljf9ms1upun0qqh59o51&board=43.0> (consultée le 4 juillet 2018).
- « JAXA Organization Chart », JAXA, disponible à l'adresse suivante : http://global.jaxa.jp/about/org/pdf/org_e.pdf (consultée le 9 juillet 2018).
- « JAXA and Indian Space Research Organization (ISRO) signed the Implementation Arrangement (IA) concerning cooperation on validations, improvements, and applications of rainfall products using satellite images and ground measurements », JAXA, disponible à l'adresse suivante : <http://global.jaxa.jp/projects/activity/int/topics.html> (consultée le 10 juillet 2018).
- « Transition of Number of Staff and Budget », JAXA, disponible à l'adresse suivante : <http://global.jaxa.jp/about/transition/index.html> (consultée le 10 juillet 2018).
- « JAXA: Japan's Aerospace Exploration Agency », Space.com, Elizabeth Howell, 19 May 2016, disponible à l'adresse suivante : <https://www.space.com/22672-japan-aerospace-exploration-agency.html> (consultée le 12 juillet 2018).
- « JAXA astronaut biographies - Koichi Wakata (Dr. Eng.) », 28 March 2017, disponible à l'adresse suivante : <http://iss.jaxa.jp/en/astro/biographies/wakata/index.html> (consultée le 12 juillet 2018).
- « About Smart Lander for Investigating Moon (SLIM) », JAXA, disponible à l'adresse suivante : <http://global.jaxa.jp/projects/sat/slim/> (consultée le 13 juillet 2018).
- « Message from JAXA president », JAXA, disponible à l'adresse suivante : <http://global.jaxa.jp/about/president/index.html> (consultée le 18 juillet 2018).
- « Le Japon veut envoyer un robot sur la Lune », L'Express.fr, 27/04/2015, disponible à l'adresse suivante : https://www.lexpress.fr/actualite/sciences/le-japon-veut-envoyer-un-robot-sur-la-lune_1675066.html (consultée le 24 juillet 2018).
- « ESA and JAXA confirm further cooperation in space », ESA, 8/03/2018, disponible à l'adresse suivante : https://www.esa.int/Our_Activities/Human_Spaceflight/ESA_and_JAXA_confirm_further_cooperation_in_space (consultée le 25 juillet 2018).
- TALBERT Tricia, « NASA, JAXA reaffirm cooperation in space exploration », NASA, 05/06/2018, disponible à l'adresse suivante : <https://www.nasa.gov/feature/nasa-jaxa-reaffirm-cooperation-in-space-exploration> (consultée le 25 juillet 2018).
- « HSF (High Speed Flight Demonstrator) », Stratocat.com, disponible à l'adresse suivante : <http://stratocat.com.ar/fichas-e/2003/KRN-20030701.htm> (consultée le 25 juillet 2018).
- « HSF (High Speed Flight Demonstration) », JAXA, disponible à l'adresse suivante : <http://global.jaxa.jp/projects/rockets/hsfd/index.html> (consultée le 25 juillet 2018).
- « CEOS », *Committee on Earth Observation Satellites*, disponible à l'adresse suivante : <http://ceos.org/> (consultée le 17 septembre 2018).
- SACCO Laurent, « Un mini-ascenseur spatial bientôt testé par le Japon », Futurasciences.com, 10/09/2018, disponible à l'adresse suivante : <https://www.futura->

[sciences.com/sciences/actualites/astronautique-mini-ascenseur-spatial-bientot-teste-japon-15098/](https://www.sciences.com/sciences/actualites/astronautique-mini-ascenseur-spatial-bientot-teste-japon-15098/) (consultée le 1^{er} novembre 2018).

- SUK Sarah, « Japan puts upgraded greenhouse gas observation satellite Ibuki-2 into orbit », The Japan times news, 29/10/2018, disponible à l'adresse suivante : <https://www.japantimes.co.jp/news/2018/10/29/national/science-health/japan-puts-upgraded-greenhouse-gas-observation-satellite-ibuki-2-orbit/#.W9t2uNVKguU> (consultée le 1^{er} novembre 2018).
- Asia-Pacific Regional Space Agency Forum, « APRSAF participants », disponible à l'adresse suivante: <https://www.aprsaf.org/participants/> (consultée le 1er novembre 2018).
- « Le Japon veut se lancer dans le tourisme spatial », Futurasciences.com, disponible à l'adresse suivante : <https://www.futura-sciences.com/sciences/actualites/astronautique-japon-veut-lancer-tourisme-spatial-315/> (consultée le 2 décembre 2018).
- CHARLES Frédéric, « Le milliardaire japonais Yusaku Maezawa, premier touriste de l'espace », RFI, 18/09/2018, disponible à l'adresse suivante : <http://www.rfi.fr/asi-pacifique/20180918-japon-milliardaire-yusaku-maezawa-premier-touriste-espace> (consultée le 2 décembre 2018).
- ROUSSEAU Yan, « Le premier touriste de l'espace choisi par Elon Musk sera un jeune milliardaire japonais », LesEchos.fr, 18/09/2018, disponible à l'adresse suivante : <https://www.lesechos.fr/industrie-services/air-defense/0302269969672-le-premier-touriste-de-l'espace-choisi-par-elon-musk-sera-un-jeune-milliardaire-japonais-2206004.php> (consultée le 2 décembre 2018).
- FRITZ Jean-Paul, « Un milliardaire japonais choisi pour faire le tour de la Lune...avec des artistes », L'OBS, 18/09/2018, disponible à l'adresse suivante : <https://www.nouvelobs.com/sciences/20180918.OBS2488/un-milliardaire-japonais-choisi-pour-faire-le-tour-de-la-lune-avec-des-artistes.html> (consultée le 9 novembre 2018).
- DENÈLE Adrien, « L'espace japonais s'ouvre au monde », Ciel et Espace n° 561, Septembre/octobre 2018, disponible à l'adresse suivante : <https://boutique.cieletespace.fr/liseuse/preview/561/view.html#!/avedocument0/pdf/1/1/1> (consultée le 9 novembre 2018).
- WILLIAMS Matt, « Japanese Startup is Working on a Reusable Rocketplane to Carry Passengers to Space, as Early as 2023 », Universe today, 7/09/2018, disponible à l'adresse suivante : <https://www.universetoday.com/139947/japanese-startup-is-working-on-a-reusable-rocketplane-to-carry-passengers-to-space-as-early-as-2023/> (consultée le 17 mars 2019).
- THE JAPANESE SOCIETY FOR AERONAUTICAL AND SPACE SCIENCES, "JSAAS Space Vision 2050", March 2019, disponible à l'adresse suivante: https://www.jsass.or.jp/webe/wp-content/uploads/2019/05/JSASS_SpaceVision2050_20190313.pdf (consultée le 15 octobre 2019)

8.2.15 L'espace : la Chine

- CNSA (China National Space Administration), disponible à l'adresse suivante : <http://www.cnsa.gov.cn/n615709/cindex-linshi.html> (consultée le 15 avril 2014).
- ACUTHAN Jayan Panthamakkada, « Le programme spatial chinois : compétition ou collaboration ? » dans Perspectives chinoises (n° 92), décembre 2005, disponible à l'adresse suivante : <http://perspectiveschinoises.revues.org/931> (consultée le 15 avril 2014).
- DE NEVE Alain (chercheur au centre d'études de sécurité et défense), « Les programmes spatiaux russes et chinois : ambitions politiques, contraintes institutionnelles et dimension technologique », Institut Royal Supérieur de Défense, Sécurité et Stratégie n° 117, avril 2014, disponible à l'adresse suivante : <http://www.irsd.be/website/images/livres/etudes/vs117.pdf> (consultée le 7 mai 2015).

8.2.16 L'espace : la Russie

- « Roscosmos », Russian Federal Space Agency, disponible à l'adresse suivante : <http://www.en.federspace.ru/> (consultée le 15 novembre 2014).
- « Russie : Un programme spatial de 52 milliards de dollars », Journaldugeek 14 avril 2013, disponible à l'adresse suivante : <http://www.journaldugeek.com/2013/04/15/russie-un-programme-spatial-de-52-milliards-de-dollars/> (consultée le 15 novembre 2014)
- « Espace : la Russie dédie 50 milliards de dollars à divers programmes », Générations Nouvelles Technologies, 14 avril 2013, disponible à l'adresse suivante : <http://www.generation-nt.com/espace-russie-dedie-50-milliards-dollars-divers-programmes-actualite-1719482.html> (consultée le 15 novembre 2014).
- « Projets spatiaux de la Russie : coloniser la Lune et lancer des vols vers Mars », Russia Beyond the Headlines (RBTH), 16 avril 2014, disponible à l'adresse suivante : http://fr.rbth.com/tech/2014/04/16/projets_spatiaux_de_la_russie_coloniser_la_lune_et_lancer_des_vols_vers_28725 (consultée le 15 novembre 2014).

8.2.17 L'espace : l'Europe

- ESA (European Space Agency), disponible à l'adresse suivante : <http://www.Esa.int/Esa> (consultée le 15 avril 2014).
- MESSINA Piero, « The Aurora Programme, Europe's Framework for Space Exploration », ESA bulletin n° 126, May 2006, disponible à l'adresse suivante : http://www.Esa.int/Esapub/bulletin/bulletin126/bul126b_messina.pdf (consultée le 15 avril 2014).

8.2.18 L'espace : les États-Unis

- NASA (National Aeronautics and Space Administration), disponible à l'adresse suivante : <http://www.nasa.gov/> (consultée le 15 avril 2014).
- INTERNATIONAL SPACE EXPLORATION COORDINATION (ISECG) : « Benefits Stemming from Space Exploration », disponible à l'adresse suivante : <http://www.nasa.gov/exploration/about/isecg/> (consulté le 15 novembre 2014).
- INTERNATIONAL SPACE EXPLORATION COORDINATION (ISECG), « ISECG members », disponible à l'adresse suivante : http://www.globalspaceexploration.org/wordpress/?page_id=50 (consultée le 27 juillet 2015).
- « Voyager mission status », NASA, Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, disponible à l'adresse suivante : <https://voyager.jpl.nasa.gov/mission/status/> (consultée le 7 juin 2019).
- PIRARD Théo, « Ils ont marché sur la Lune », Le Quinzième Jour (Université de Liège), mai-août 2019, pp. 74-75, disponible à l'adresse suivante : <https://www.lqj.uliege.be/books/LQJ-273/74-75/#zoom=z> (consultée le 18 juillet 2019).

8.2.19 L'Antarctique

- « Traité sur l'Antarctique », Bureau des affaires du désarmement des Nations unies, 1^{er} décembre 1959, disponible à l'adresse suivante : <http://www.un.org/fr/disarmement/instruments/tant.shtml> (consultée le 15 novembre 2014).
- « Protocole de 1991 au traité sur l'Antarctique relatif à la protection de l'environnement », Onu, 4 octobre 1991, disponible à l'adresse suivante : <http://www.ats.aq/f/ep.htm> (consultée le 15 novembre 2014).

8.3 Cours

- ULiège : « Initiation à l'esprit critique » - Mme Yaël Nazé (2019-2020) : <https://www.programmes.uliege.be/cocoon/20192020/cours/DOCU0455-1.html>
- ULiège : « Seminar on Space activities » - Mr Christian Barbier et Mme Aurélie Fumel (2019-2020) : <https://www.programmes.uliege.be/cocoon/20182019/cours/SPAT0072-1.html>
- ULiège : « The Universe - Science and Philosophy » - Mr Pierre Magain (2019-2020) : <https://www.programmes.uliege.be/cocoon/20192020/cours/SPAT0081-1.html>
- ULiège : « Langue Japonaise I (niveau débutant) » - Mr Andreas Thele (2018-2019) : <https://www.programmes.uliege.be/cocoon/20182019/cours/ASIE0012-2.html>
- ULiège : « Introduction aux religions du Japon : shintoïsme et bouddhisme » - Mme Edith Culot (2018-2019) : <https://www.programmes.uliege.be/cocoon/cours/ASIE0009-1.html>
- ULiège : « Dynamiques socioculturelles de l'Asie orientale » - Mr Andreas Thele (2018-2019) : <https://www.programmes.uliege.be/cocoon/cours/ASIE0023-1.html>
- ULiège : « Introduction à l'art japonais et au japonisme » - Mme Edith Culot, Mme Julie Bawin, Mr Andreas Thele (2018-2019) : <https://www.programmes.uliege.be/cocoon/cours/HAAR0159-1.html>
- ULiège : « Initiation à la littérature japonaise » - Mme Kanako Goto (2017-2018) : <https://www.programmes.uliege.be/cocoon/cours/ASIE0010-1.html>
- ULiège : « Pensée et croyances en Asie orientale » - Mr Andreas Thele (2017-2018) : <https://www.programmes.uliege.be/cocoon/cours/ASIE0002-1.html>
- ULiège : « Histoire et civilisation de l'Inde classique » - Mr Philippe Swennen (2017-2018) : <https://www.programmes.uliege.be/cocoon/cours/LLOR0059-1.html>
- ULiège : « Histoire de la Chine moderne : des guerres de l'opium à la chute de la dynastie Qing (1840-1911) » - Mr Stijn Declerck (2017-2018) : <https://www.programmes.uliege.be/cocoon/cours/ASIE0017-1.html>
- ULg : « Individu et Communauté au Japon » - Mr Andreas Thele (2016-2017) : <https://www.programmes.uliege.be/cocoon/cours/ASIE0005-1.html>
- ULg : « Evolution des idées en astronomie » - Mme Yaël Nazé (2016-2017) : <https://www.programmes.uliege.be/cocoon/cours/SPAT0018-1.html>
- ULg : « Questions d'histoire des Sciences de l'Univers » - M. Marc-Antoine Dupret (2015-2016) : <http://progcours.ulg.ac.be/cocoon/cours/SPAT0050-1.html> , Syllabus disponible ici : <http://www.astro.ulg.ac.be/~dupret/>
- ULg : « Questions d'actualité et séminaires (Seminar on topical issues) » - Benoît Hubert (2015-2016) : <http://progcours.ulg.ac.be/cocoon/cours/SPAT0017-1.html>
- CERIS-ULB Diplomatic School of Brussels - « Japan's foreign policy and security concerns » (2019-2020) - Executive Master in International Politics : http://ceris.be/Moodle_Data/Application_Form/MAIPCourseDescription2020.pdf
- SPF Défense (Belgique) : « Hautes Etudes de Sécurité et de Défense, une opportunité multisectorielle - Session 2015-2016 » : http://www.irsd.be/website/images/images/HESD/inscription/HESD_1516.pdf
- NGO Schola Empirica : « Summer School on China : A World Superpower - Myth or Reality ? » - Prague - 4 to 11 July 2015 : <http://china.praguesummerschools.org/>
- ULg : « Enjeux de la Sécurité - Défense » - Mr. A. Dumoulin (2015-2016) : <http://progcours.ulg.ac.be/cocoon/cours/SPOL2318-1.html>
- ULg : « Régionalisme dans la politique mondiale » - Mr. Sébastien Santander (2015-2016) : <http://progcours.ulg.ac.be/cocoon/cours/SPOL0925-1.html>
- Haute École de la Province de Namur : « Géopolitique et relations internationales » - M. Olivier Dupont (2015-2016).
- ULg : « Exploration spatiale / Space exploration » - Mr Grégor Rauw (2014-2015) : <https://www.programmes.uliege.be/cocoon/cours/SPAT0035-1.html>

- ULg : « Théorie générale des relations internationales » - Mr. Sébastien Santander (2014-2015) : <http://progcours.ulg.ac.be/cocoon/cours/SPOL0011-1.html>
- ULg : « Histoire des relations extérieures du Japon » - Mr Andreas Thele (2014-2015) : <https://www.programmes.uliege.be/cocoon/cours/ASIE0004-1.html>
- ULg : « Droit International Public » (partie «Droit de l'espace») - M. Franklin Dehousse (2014-2015) : <http://progcours.ulg.ac.be/cocoon/cours/DROI2113-1.html>
- ULg : « Exploration spatiale / Space exploration » - Mr Grégor Rauw (2014-2015) : <https://www.programmes.uliege.be/cocoon/cours/SPAT0035-1.html>
- KU Leuven : « Space Organisations » (Master of Space Studies): https://onderwijsaanbod.kuleuven.be/syllabi/e/GOS57AE.htm#activetab=doelstellingen_idm205552
- UNIL (Université de Lausanne): « Théories des relations internationales » - M. Jean-Christophe Graz (2011-2012).
- ULg : « Relations politiques internationales » - Mr. Jean Beaufays (1992-1993).

8.4 Conférences

- MAGAIN Pierre (professeur d'astrophysique et d'astrophysique extragalactique en Faculté des sciences - Master en Sciences Spatiales ULg), « Où sont les extra-terrestres ? », Espace Universitaire de Liège, 3 avril 2014.
- HIROSE Chikako, TAROMARU Yoshitaka, KAMEYAMA Masaya, AOKI Sadao et ISOBE Syuzo, « Overview of JAXA Space Debris Surveillance Operations », ARC (Aerospace Research Central), Spaceops Conference 2006, disponible à l'adresse suivante : <https://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/6.2006-5817> (consultée le 29 juin 2018).
- BRAHIC André, « Dernières nouvelles de l'Univers », Planète-conférences, Université Bretagne Sud, 7/04/2014, disponible à l'adresse suivante : <https://www.youtube.com/watch?v=JQPmzRCHLJI> (consultée le 6 mai 2018).
- NAZÉ Yaël, « Voyager dans l'espace », Les Grandes Conférences Liégeoises, 14 avril 2016, disponible à l'adresse suivante : <http://www.gclg.be/> (consultée le 1^{er} janvier 2016).
- NAZÉ Yaël, « L'astronomie des anciens », Oceanopolis, 5 octobre 2016, disponible à l'adresse suivante : https://www.youtube.com/watch?v=RDy2u4UD_3Q (consultée le 3 juillet 2018).
- « Evolution de la politique de défense et de sécurité du Japon et dilemme de sécurité en région Asie-Pacifique » - Institut Royal Supérieur de Défense - 13 décembre 2016 : <http://www.irsd.be/website/index.php/fr/85-francais/conf2016-fr/1291-conf-2016-1-13>
- ROCHUS Pierre, « Cela vaut-t-il toujours la peine d'aller dans l'espace » - SAL (Société Astronomique de Liège), 27 février 2017
- KAWAMOTO Satomi, OHKAWA Yasushi, OKAMOTO Hiroyuki, IKI Kentaroh, OKUMURA Teppei, KATAYAMA Yasuhiro, HAYASHI Masato, HORIKAWA Yuta, KATO Hiroki, MURAKAMI Naomi, TORU Yamamoto, INOUE Koichi, « Current Status of Research and Development on Active Debris Removal at JAXA », ESA, 7th European Conference on Space Debris (by JAXA speakers), 2017, disponible à l'adresse suivante : <https://conference.sdo.esoc.esa.int/proceedings/sdc7/paper/655/SDC7-paper655.pdf> (consultée le 2 juillet 2018).
- DEHANT Véronique et GILLON Michaël, « Défis et controverses sur l'habitabilité dans le système solaire et les exoplanètes », 22/11/2017, disponible à l'adresse suivante : <https://uclouvain.be/fr/decouvrir/evenements/defis-et-controverses-sur-l-habitabilite-dans-le-systeme-solaire-et-les-exoplanetes.html> (consultée le 22 novembre 2017)
- BAUMANN Ingo, « Space law: legal responsibilities of space system operators », Académie Air Espace, 6/06/2018, disponible à l'adresse suivante:

- <http://www.academie-air-espace.com/event/newdetail.php?varCat=22&varId=520> (consultée le 6 juin 2018)
- LEFEBVRE Jean-Claude, « L'univers, d'ici à l'horizon », SAL (Société Astronomique de Liège), 22/06/2018, disponible à l'adresse suivante : <http://www.societeastronomique.ulg.ac.be/activite/conference-de-juin-lunivers-dici-a-lhorizon/> (consultée le 22 juin 2018).
 - BARLUET Alain, « L'autonomie stratégique à l'épreuve du spatial », IFRI (Institut Français des Relations Internationales), le 24/10/2018, disponible à l'adresse suivante : <https://www.ifri.org/fr/debats/lautonomie-strategique-lepreuve-spatial> (consultée le 4 octobre 2018).
 - PRICKEN Daniel et ELLOUZE Thameur, « Le droit de l'Espace », Société Astronomique de Liège, 26/10/2018, disponible à l'adresse suivante : https://www.campus.uliege.be/cms/c_10370087/fr/me-daniel-pricken-et-me-thameur-ellouze-le-droit-de-l-espace (consultée le 8 octobre 2018).
 - PIRARD Théo, « New Space, made in China - Cap sur un nouvel âge spatial », Société Astronomique de Liège, 30/11/2018, disponible à l'adresse suivante : <http://www.societeastronomique.ulg.ac.be/a-decouvrir/conferences/> (consultée le 30 octobre 2018).
 - BARBIER Christian, « Cartes postales du système solaire - Souvenirs de voyage des sondes spatiales » (focus sur Hayabusa 2), Société Astronomique de Liège, 25/01/2019, disponible à l'adresse suivante : <http://www.societeastronomique.ulg.ac.be/activite/conference-de-janvier-cartes-postales-du-systeme-solaire-souvenirs-de-voyage-des-sondes-spatiales/>, (consultée le 25 janvier 2019).
 - JAVAUX Emmanuelle, « L'habitabilité : que peuvent nous apprendre les premiers milliards d'années de la vie sur Terre, sur la possibilité de vie sur Mars ? », Académie royale de Belgique, 13/03/2019, disponible à l'adresse suivante : <http://www.academieroyale.be/fr/activites-detail/dates/l-habitabilite-bsp-que-peuvent-nous-apprendre-premiers-milliards-annees-vie-sur-terre-sur-possibilite-vie-sur-mars-bsp-13-03-2019-17-00> (consultée le 5 mars 2019).
 - HIDEAKI Tada, « Introduction au droit japonais. Conceptions et réformes avant et après la Restauration de Meiji », Toyo University, 20/03/2019 (dans le cadre du cours ULiège : « Dynamiques socioculturelles de l'Asie orientale » - Mr Andreas Thele (2018-2019) : <https://www.programmes.uliege.be/cocoon/cours/ASIE0023-1.html>).
 - S.E.M. HAYASHI Hajime, Ambassadeur du Japon, « Japand and Belgium : Different Nations with Common Challenges », 4/04/2019, disponible à l'adresse suivante: https://www.be.emb-japan.go.jp/itpr_en/news_190404.html?fbclid=IwAR1oL09A6IGpTAWIP18eg_LDZtGFVCNnUM3d5OuCTCgSdufbr_ACvNsk28Y (consultée le 9/04/2019) (dans le cadre du cours ULiège : « Dynamiques socioculturelles de l'Asie orientale » - Mr Andreas Thele (2018-2019) : <https://www.programmes.uliege.be/cocoon/cours/ASIE0023-1.html>).
 - BARBIER Christian et PIRARD Théo, « Duel pour la Lune », Institut technique Saint-Laurent de Liège (ISLG), 28/03/2019, disponible à l'adresse suivante : <http://www.islg.be/events/centenaire/> (consultée le 25 janvier 2019)
 - FRIMOUT Dirk et PLETZER Vladimir, « La conquête de l'espace de 1918 à 2018... Et ensuite ? », Institut technique Saint-Laurent de Liège (ISLG), 25 avril 2019, disponible à l'adresse suivante : <http://www.islg.be/events/centenaire/> (consultée le 25 janvier 2019).
 - HARAYAMA Yuko, EHESS (Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales) France Japan Foundation, « 10 ans de la Fondation France Japon : Croissance, innovation et inégalités. Leçons japonaises pour le monde - L'innovation au-delà de la technologie », 4 juin 2019, disponible à l'adresse suivante : <http://alumni-ehess.fr.alumnforce.org/event/10-ans-de-la-fondation-france-japon->

[croissance-innovation-et-inegalites-lecons-japonaises-pour-le-monde/2019/06/04/44](https://www.iafastro.org/biographie/seishiro-kibe/) (consultée le 25 mai 2019).

- YAMAZAKI Naoko (2nd female astronaut of JAXA), « Seeing Earth from space », TEDx Talks (TED conference), 4 August 2015, disponible à l'adresse suivante : <https://www.youtube.com/watch?v=Skxa33RVVh4> (consultée le 8 août 2019).
- DUMOULIN Patrick, « Les astéroïdes géocroiseurs », SAL (Société Astronomique de Liège), 13 décembre 2019, disponible à l'adresse suivante : <http://societeastronomique.uliege.be/active/conference-de-decembre-les-asteroides-geocroiseurs/> (consultée le 13 décembre 2019).

8.5 Interviews et personnes contactées

- Docteur KIBE Seishiro, ex-conseiller scientifique principal à la JAXA (département Recherche et Relations Internationales) et ancien vice-président de la Fédération Aéronautique Internationale (12/06/2019). Une présentation de la biographie du Dr KIBE est disponible à l'adresse suivante : <http://www.iafastro.org/biographie/seishiro-kibe/> (consultée le 12 juin 2019).
- M. YASAKA Tetsuo, professeur émérite à l'Université de Kyushu (département de l'aéronautique et de l'astronautique) et ancien vice-président de la Fédération Aéronautique Internationale (12/06/2019). Il est également membre fondateur et directeur de l'iQPS (-Institute for Kyushu Pioneers of Space-) basé à Fukuoka. Une présentation de la biographie du professeur YASAKA (fondateur du groupe d'étude des débris spatiaux au sein de la JSAAS -The Japanese Society for Aeronautical and Space Sciences-) est disponible à l'adresse suivante : <http://www.iafastro.org/biographie/tetsuo-yasaka/> (consultée le 12 juin 2019).
- M. PIRARD Théo, responsable Communication de l'association Wallonie Espace et du journal Wallonie Espace Infos, correspondant de presse dans la revue belge Athena et de la revue française Air et Cosmos (10/06/2019).
- M. GIELEN Frédéric, ancien membre du Conseil d'Administration de la Société Astronomique de Liège (SAL) (14/06/2019).
- M. BALDEWYNS Francis, ancien professeur de chimie passionné par la géologie de la planète Mars. (15/07/2019). Une présentation de sa biographie est disponible à l'adresse suivante : <https://fr.calameo.com/subscriptions/1092009> (consultée le 15 juillet 2019). Les livres de cet écrivain belge sont également accessibles en lecture en ligne à l'adresse suivante : <https://fr.calameo.com/read/0010822004439b887724d> (consultée le 13 août 2019).

8.6 Films

- VICTOR Jean-Christophe, « Les hommes et l'espace », Le dessous des cartes, 15 juin 2013, disponible à l'adresse suivante : <http://www.youtube.com/watch?v=yLyHjOJ7eK8> (consultée le 15 novembre 2014).
- PASCO Xavier, « Espace : La hiérarchie des puissances spatiales », France Culture, 2 mai 2014, disponible à l'adresse suivante : <http://www.franceculture.fr/emission-les-enjeux-internationaux-espace-la-hierarchie-des-puissances-spatiales-2014-05-02> (consultée le 15 novembre 2014).
- TYSON Neil deGrasse, « Cosmos - A Spacetime Odyssey », September 2014, disponible à l'adresse suivante : <http://www.imdb.com/video/imdb/vi1882499353/> (consulté le 24 août 2015).
- « Robots in space - The movie » (*Hayabusa-1*), Riding with robots (blog), 7/10/2011, disponible à l'adresse suivante : <http://www.ridingwithrobots.org/2011/12/robots-in-space-the-movie/> (consultée le 11 juillet 2018).

- « JAXA Press Conference on Hitomi (movie in Japanese) », NASASpaceflight.com (forum), April 2016, disponible à l'adresse suivante: <https://youtu.be/BgLS00PseAA> (consultée le 25 juillet 2018).
- « Gravity », Warnerbros.com, 4 October 2013, disponible à l'adresse suivante : <https://www.warnerbros.com/gravity/index> (consultée le 10 septembre 2018).
- « JAXA 2015 (JAXA Long-term Vision) », JAXA, 9 April 2009, disponible à l'adresse suivante : https://www.youtube.com/watch?v=jgs8G_EScz4 (consultée le 1^{er} novembre 2018).
- « How we landed a rover on an asteroid » (*Hayabusa-2*), BBC Click, 22/10/2018, disponible à l'adresse suivante: https://www.youtube.com/watch?v=khaGSwyLk_w (consultée le 6 octobre 2019).
- « Comment nettoyer les déchets dans l'espace ? », Auvio RTBF, Matière Grise, 9/10/2019, disponible à l'adresse suivante : https://www.rtbf.be/auvio/detail_matiere-grise?id=2551993 (consultée le 10 octobre 2019).

8.7 Visites

- LA COUPOLE - St Omer (France) - 26/05/2006 : <http://www.lacoupole-france.com/>
- SMITHSONIAN NATIONAL AIR & SPACE MUSEUM - Washington DC (USA) - 02/06/2010 : <https://airandspace.si.edu/>
- KENNEDY SPACE CENTER - Orlando, Floride (USA) - 16/06/2010 : <https://www.kennedyspacecenter.com/>
- MONUMENT DES CONQUÉRANTS DE L'ESPACE ET MUSÉE DE L'ASTRONAUTIQUE - Moscou (Russie) - 17/08/2011 : <http://www.kosmo-museum.ru/?locale=en>
- MISSION CONTROL CENTER OF RUSSIAN FEDERATION SPACE AGENCY (Roscosmos) - Korolyov (Russia) 17/08/2011: <http://www.snipview.com/q/TsUP>
- YOURI GAGARIN RESEARCH & TEST COSMONAUT TRAINING CENTER (« Cité des étoiles ») - Moscou (Russie) 19-08-2011 : <http://www.gctc.su/>
- TECHNIK MUSEUM - SPEYER (Allemagne) - 11/05/2013 : <http://speyer.technik-museum.de/>
- CENTRE SPATIAL DE LIÈGE (Belgique) - 7/09/2014 : <http://events.ulg.ac.be/50csl/portes-ouvertes-5-6-7-septembre/>
- FUTUROSCOPE « Mission Hubble » (Poitiers, France) - 27/03/2015 : <http://en.futuroscope.com/attractions-and-shows/discovery/mission-hubble>
- SPACE-EXPO (« Gateway to Space: The exhibition ») - Bruxelles (Belgique) - 12/08/2015 : <http://expo-space.be/?lang=fr>
- EUROSPACE CENTER - Redu (Belgique) - 15/08/2015 : <http://www.eurospacecenter.be/esc/index.php>
- MUSÉE DE LA PAIX (HIROSHIMA PEACE MEMORIAL MUSEUM) - Hiroshima (Japon) - 24/05/2018 : <http://hpmuseum.jp/?lang=eng>
- EXPO « 50 ANS...ON A MARCHÉ SUR LA LUNE » - Ecole Supérieure des Arts Saint-Luc – Liège (Belgique) - 06/06/2019 : <https://www.saint-luc.be/news/agenda/>
- EXPO TEMPORAIRE « ON A MARCHÉ SUR LA LUNE : 50^{ÈME} ANNIVERSAIRE - APPOLO 11 » - Europa Expo : Génération 80 - Liège (Belgique) - 13/07/2019 : <https://www.europaexpo.be/>

8.8 Reportages personnels

- KENNEDY SPACE CENTER - Orlando, Floride (USA) – Robert Mary - 20/06/2010 : http://www.ardenneweb.eu/reportages/2010/kennedy_space_centre_cape_canaveral_floride_usa

- SMITHSONIAN NATIONAL AIR & SPACE MUSEUM - Washington DC (USA – Robert Mary - 22/06/2010 : http://www.ardenneweb.eu/reportages/2010/musee_de_l_air_et_de_l_espace_washington_dc_usa
- CENTRE SPATIAL DE LIÈGE (Belgique) – Robert Mary - 15/09/2014 : http://www.ardenneweb.eu/reportages/2014/journees_portes_ouvertes_au_centre_spatial_de_liege
- EXPOSITION « GATEWAY TO SPACE » – Robert Mary - 13/08/2015 : http://www.ardenneweb.eu/reportages/2015/exposition_gateway_to_space
- EURO SPACE CENTER – Robert Mary - 17/08/2015 : http://www.ardenneweb.eu/reportages/2015/euro_space_center_transinne
- L'UNIVERS EN 100 QUESTIONS par Jean-Pierre LUMINET – Robert Mary - 09/07/2019 : http://www.ardenneweb.eu/reportages/2019/l_univers_en_100_questions_jean_pierre_luminet

8.9 Bandes dessinées

- PAULIS Emmanuel, *Tania : L'Europe dans l'espace*, éditions Joker, 2013.
- PAULIS Emmanuel, MARTIN Jaques, *La conquête de l'espace*, éditions Casterman, 2019.
- PÉCAU Jean-Pierre et BUCHET Philippe, *Jour J n°1 : Les Russes sur la Lune*, éditions Delcourt, 2010.
- WETTERWALD Nicolas : *1969, L'Odyssée fantôme*, publication indépendante, 2018.

9. Lexique

- AHA : *ASEAN Coordinating Center for Humanitarian Assistance on disaster management*, Centre de Coordination de l'Association des nations de l'Asie du Sud-est pour l'Assistance Humanitaire et la gestion de crises.
- APRSAF : *Asia-Pacific Regional Space Agency Forum*, Forum des agences spatiales de la région Asie-Pacifique. Ce forum traite de la gestion des désastres naturels, des questions environnementales et climatiques ainsi que de la coopération asiatique grâce à l'emploi du laboratoire spatial japonais *Kibō*
- ASAT : *Anti-Satellite*, antisatellite.
- ASEAN : *Association of Southeast Asian Nations* (Association des nations de l'Asie du Sud-est). Les pays membres sont: la Thaïlande, l'Indonésie, la Malaisie, le Vietnam, Singapour, Les Philippines, le Myanmar (l'ex-Birmanie), le Cambodge, le Laos et Brunei.
- CEOS : *Committee on Earth Observation Satellites* le Comité sur les Satellites d'Observation de la Terre.
- CNES : Centre National d'Études Spatiales, agence spatiale française.
- CNIL : Commission Nationale Informatique et Libertés.
- CNSA : *Chinese National Space Agency*, agence spatiale chinoise.
- CSTP : *Council of Science and Technology Policy*, Conseil interministériel de la politique des sciences et des technologies, il est présidé par le premier ministre du Japon. Ce conseil gère les affaires stratégiques liées aux sciences et aux technologies (dont le secteur spatial).
- COPUOS : *Committee on the Peaceful Uses of Outer Space*, le Comité pour l'utilisation pacifique de l'espace. Il est une émanation de l'Organisation des Nations unies.
- CSL : Centre Spatial de Liège.
- ESA : *European Space Agency*, Agence Spatiale Européenne.
- ETD : *Electrodynamic Tether*, câble électrodynamique. C'est l'interaction entre le câble électrodynamique et le champ magnétique de la Terre qui génère suffisamment d'énergie pour faire changer d'orbite un débris dans l'espace.
- GEO : *Geostationary orbit*, orbite géostationnaire. C'est une orbite située à 35 784 km d'altitude au-dessus de l'équateur de la Terre, cette orbite est principalement occupée par les satellites de télécommunication et de météorologie.
- HTV : *H-II/HOPE Transfer Vehicle*, aussi nommé *Kōnotori*. C'est le module de ravitaillement automatisé de l'ISS.
- IACD : *Inter-Agency Space Debris Coordination Committee*, le Comité interagences sur les débris spatiaux. Il est une émanation de l'Organisation des Nations unies et regroupe les agences spatiales de 13 membres.
- l'IACG : *Inter-Agency Consultative Group*, Groupe consultatif inter-agences formé des représentants de l'ESA (européen), d'Intercosmos (russe), de la JAXA (japonaise) et de la NASA. Une coopération directe entre agences spatiales et une coordination de leurs moyens fut pour la première fois possible. Malheureusement ce comité disparut en 2006 en partie faute de pouvoir rallier l'Inde et la Chine.
- IKAROS : *Interplanetary Kite-craft Accelerated by Radiation of the Sun*, engin interplanétaire accéléré par la radiation du Soleil. *Ikaros* est le nom de la voile solaire utilisant la pression de la radiation du soleil comme énergie motrice. Cette technologie implique l'utilisation de grandes surfaces pour la voile et une charge utile ultra légère (200 Kg).

- ILEWG : *International Lunar Exploration Working Group*, Groupe de travail international de l'exploration lunaire composé des membres de l'IACG.
- IMEWG : *International Mars Exploration Working Group*, Groupe de travail international de l'exploration de Mars composé des membres de l'IACG.
- ISAS : *Institute of Space and Astronautical Science*, Institut des sciences spatiales et astronautiques (créé en 1964).
- ISECG : *International Space Exploration Coordination Group*, Groupe de coordination international de l'exploration spatiale. Il remplace l'IACG depuis mai 2007, c'est une plateforme d'échange sur la stratégie d'exploration spatiale individuelle ou collective composée de 15 pays membres dont le Japon.
- ISRO : *Indian Space Research Organization*, Agence spatiale indienne.
- ISS : *International Space Station*, Station spatiale internationale.
- JAXA : *Japan Aerospace Exploration Agency*, agence aérospatiale d'exploration japonaise
- JEM : *Japanese Exploration Module*, aussi nommé *Kibō*. C'est un laboratoire spatial, le plus gros module scientifique de l'ISS.
- JSpOC : *Joint Space Operations Center*, centre conjoint de monitoring des débris spatiaux (JAXA-NASA) dans le cadre de l'accord SSA (*Space Situation Awareness* ou état des lieux spatial) de 2013. Les centres de suivi de la NASA fournissent des informations à la JAXA et réciproquement.
- JWST : *James Webb Space Telescope*, Téléscope spatial James Webb.
- KITE : *Kōnotori Integrated Tether Experiment*, l'expérience *Kōnotori* de câble intégré.
- LEO : *Low Earth Orbit*, orbite basse. C'est une orbite dont l'altitude est inférieure à 1 000 km, elle est principalement occupée par les satellites d'observation de la terre et les stations spatiales.
- MDA : *Space-based Maritime Domain Awareness*, la connaissance du domaine maritime depuis l'espace.
- MEXT : *Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology*, ministère japonais de l'Éducation, de la Culture, des Sports, des Sciences et de la Technologie. Il supervise la JAXA.
- MMX : *Martian Moons Exploration*, Exploration des lunes de Mars.
- MOFA : *Ministry of Foreign Affairs of Japan*, Ministère des Affaires étrangères du Japon.
- MPHPT : *Ministry of Public Management, Home Affairs, Posts and Telecommunications*, ministère japonais de la gestion publique, des Affaires intérieures, des postes et des Communications (devenu depuis 2004 le ministère des Affaires intérieures et des Communications).
- NAL : *National Aeronautic Laboratory*, Laboratoire national aérospatial du Japon (créé en 1955).
- NASDA : *National Space Development Agency of Japan*, Agence nationale de développement spatial du Japon (créée en 1969).
- NASA : *National Aeronautics and Space Administration*, administration nationale de l'aéronautique et de l'espace (agence spatiale américaine).
- NORAD : *North American Aerospace Defense Command*, Commandement de la défense aérospatiale de l'Amérique du Nord.
- NSS : *National Security Strategy*, stratégie nationale de sécurité.
- OPA : *Offre Publique d'Achat*.
- SAC : *Space Activities Committee*, Comité des affaires spatiales. Il supervise le MEXT et la JAXA.
- SAFARI : *Spica FAR-infrared Instrument*, Instrument à longue portée infra-rouge inclus dans le télescope spatial nommé SPICA.
- SELENE : *SELenological and ENgineering Explorer*, sonde d'exploration lunaire (sol sélène).
- SDMG : *Space Debris Mitigation Guidelines*, les lignes directrices sur la réduction des déchets spatiaux. Elles furent approuvées par le COPUOS à l'ONU en 2007 puis révisées en 2011. Elles

sont issues des travaux antérieurs japonais (guidelines de 2001 de l'IADC (*Inter-Agency Space Debris Coordination Committee*) et du respect de la norme internationale ISO 24.113 :2011 portant sur le même sujet.

- SDS : *Space Debris Sensor*, détecteur de débris spatiaux.
- SLATS : *Super Low Altitude Test Satellite*, Satellite d'altitude extrêmement basse.
- SPICA : *Space Infrared Telescope for Cosmology and Astrophysics*, Téléscope spatial à infra-rouge pour la cosmologie et l'astrophysique.
- SSA : *Space Situation Awareness*, Etat des lieux spatial (ou la connaissance de la situation spatiale).
- SSPS : *Space Solar System Power System*, système de gestion de l'énergie solaire depuis l'espace extra-atmosphérique.
- STARS : *Space Tethered Autonomous Robotic Satellite*, Satellite robotique autonome captif dans l'espace (un satellite mère est relié à un satellite fille par un long câble).
- TBS : *Tokyo Broadcasting System*, Station radio de Tokyo.
- UNOOSA : *United Nations Office for Outer Space Affairs*, Bureau des affaires spatiales des Nations unies.
- UIT : Union Internationale des Télécommunications (au sein de laquelle sont arbitrées les allocations de fréquences et d'orbites relatives aux activités satellitaires).
- XARM : *X-ray Astronomy Recovery Mission*, Mission de récupération en astronomie par rayons X. La mission a été renommée XRISM (*X-Ray Imaging and Spectroscopy Mission*).
- XRS : *X-Ray Instrument*, instrument à rayons X.

10. Lexique des termes japonais

Par convention, la première lettre d'un nom propre en *rōmaji* figure en majuscule (exemple : lieu, divinité, planète, entreprise, période, ...).

rōmaji	kanji	kana	français	thème
<i>ai</i>	愛	あい	Amour	Amour intense (sens commun), mais aussi affection voire même dans un sens plus restreint la bienveillance (d'un supérieur envers son subordonné)
<i>akari</i>	明かり	あかり	Lumière	Nom du 1 ^{er} télescope spatial infrarouge japonais (2006)
<i>akatsuki</i>	暁	あかつき	Aube	Sonde spatiale envoyée vers Vénus
<i>Amaterasu ōmikami</i>	天照大神	あまてらすおおみかみ	Amaterasu Omikami	Déesse solaire (mythologie japonaise) dont chaque empereur est censé descendre
<i>Amaterasu</i>		アマテラス	Amaterasu	Astéroïde dénommé « 10385 Amaterasu (1996 TL-12) »
<i>asahi shinbun</i>	朝日新聞	あさひしんぶん	Le quotidien « Soleil du matin »	Le 2 ^{ème} plus grand journal du Japon en termes de tirage
<i>Asuka</i>	飛鳥時代 (période historique)	あすか	Période « Asuka » de l'histoire du Japon (+538 à +710)	Observatoire à rayons X
<i>Bisei supēsugādo sentā</i>	美星スペースガードセンター	びせいスペースガードセンター	Centre de surveillance spatial de Bisei	Bisei Spaceguard Center
<i>bunraku</i>	文楽	ぶんらく	théâtre de marionnettes	
<i>bushidō</i>	武士道	ぶしどう	Code d'honneur du <i>samurai</i>	Le code fait explicitement référence au « Giri envers son propre nom »
<i>Chi kyū</i>	地球	ちきゅう	La Terre	Planète Terre (« sphère de la Terre »)

chū	忠	ちゅう	Loyauté, fidélité	Devoir envers l'empereur, le pays, la loi
daichi	大地	だいち	Sol, terre	Satellite d'observation de la Terre (en orbite basse)
dango	団子	だんご	Boulettes de riz	Objet de forme sphérique (pour désigner <i>Hayabusa-2</i>)
Dosei	土星	どせい	Saturne	Planète Saturne (« astre de la terre »)
Enryakuji	延暦寺	えんりやくじ	Nom d'un temple bouddhique (situé sur le Mont Hiei à Ōtsu surplombant Kyōto)	Temple bouddhique de l'école Tendai où notamment l'astronomie était enseignée aux aristocrates et guerriers au Moyen Age
Fujitsu	富士通	ふじつう	Fujitsu (entreprise)	Entreprise produisant des semi-conducteurs et équipements informatiques (notamment dans le cadre du suivi des débris spatiaux)
ga / miyabi	雅	が / みやび	Élégance (littérature)	Courant littéraire <i>ga</i> , une abréviation de <i>gabun</i> (雅文, がぶん) ou élégance. Il s'oppose au courant <i>zoku</i> .
geisha	芸者	げいしゃ	Une personne de l'art	Une artiste maîtrisant les arts traditionnels japonais dans le cadre de prestations de divertissement pour une clientèle aisée
gimu	義務	ぎむ	Contrepartie de la dette morale contractée à la naissance (vis-à-vis de la famille proche par exemple)	« Accomplir son <i>gimu</i> » signifie s'acquitter de sa dette de son propre gré
ginga	銀河	ぎんが	La Voie lactée (galaxie)	Observatoire à rayons X
giri	義理	ぎり	Contrepartie de la dette de gratitude (obligation)	« Accomplir son <i>giri</i> envers le monde » signifie s'acquitter de sa

			sociale)	dette (le plus souvent contre son gré)
			Obligation de laver un affront pour « sauver la face »	« Accomplir son <i>giri</i> envers son propre nom » signifie laver son honneur
<i>giri no otōsan</i>	義理のお父さん	ぎりのおとうさん	Le beau-père	Le « père en giri » (lorsque l'on parle d'une autre famille que la sienne)
<i>giri no okāsan</i>	義理のお母さん	ぎりのおかあさん	La belle-mère	La « mère en giri » (lorsque l'on parle d'une autre famille que la sienne)
<i>haji</i>	恥	はじ	Honte, embarras	
<i>hagakure</i>	葉隠	はがくれ	Guide du guerrier ou livre du Samuraï. C'est une forme de traité sur le <i>bushidō</i>	Tsuramoto TASHIRO compila les commentaires de son professeur Jōchō YAMAMOTO (ancien Samuraï devenu prêtre) entre 1709 et 1716 au sujet de son <i>hagakure</i> c.à-d. « les enseignements du Samuraï »
<i>hagoromo</i>	羽衣	はごろも	Plumage d'oiseau, manteau de plumes	Micro-satellite orbiteur transporté par <i>Hiten</i>
<i>hakuchō</i>	白鳥	はくちょう	Cygne	Nom du 1 ^{er} observatoire spatial à rayon X japonais (1979)
<i>hayabusa</i>	探査機	はやぶさ	Faucon pèlerin	Sonde spatiale envoyée vers un astéroïde
<i>hinode</i>	日の出	ひので	Aurore	Observatoire spatial
<i>hinotori</i>	鳳凰	ひのとり	Phoenix	Satellite scientifique portant le nom de l'oiseau mythique (le <i>Fenghuang</i>), symbole de la vie et de l'immortalité d'après la mythologie chinoise
<i>hiragana</i>	平仮名	ひらがな	Hiragana	Syllabaire japonais cursif employé pour les termes typiquement japonais

Hirohito	裕仁	ひろひと	Hirohito	Empereur du Japon durant l'ère <i>Shōwa</i> (+1926 à +1989)
hiten		ひてん	Jeune fille céleste	Nom de la 1 ^{ère} sonde lunaire japonaise (1990)
hitomi	瞳	ひとみ	Pupille de l'oeil	Satellite Astro-H (rayons X)
hiwari	日割	ひわり	Par jour	Satellite de météorologie
hōjōki	方丈記	ほうじょうき	Notes de ma cabane de moine de dix pieds carrés	Texte du moine bouddhiste Kamo-no-chōmei en 1212
ibuki	息吹	いぶき	Respiration / Vitalité	Satellite d'observation de la Terre (gaz à effet de serre)
Inja bungaku	隠者文学	いんじゃぶんがく	Littérature d'ermite	Le <i>hōjōki</i> du moine bouddhiste Kamo-no-chōmei en 1212 est un exemple de ce genre littéraire
itokawa	小惑星	イトカワ	Nom d'un astéroïde en l'honneur du père du programme spatial japonais : ITOKAWA Hideo	Nom d'un astéroïde dont la matière fut extraite dans le cadre de la mission <i>Hayabusa-1</i>
iwanu ga hana	いわぬがはな	いわぬがはな	Il vaut mieux que certaines choses ne soient pas dites	Le silence est d'or (proverbe issu du bouddhisme Zen)
jieitai	自衛隊	じえいたい	Forces d'auto-défense (armée) du Japon	Japan Self-Defense Forces (JSDF)
jichō	自重	じちょう	Estime de soi	
jin	仁	じん	Bienveillance, humanité	
jiriki	自力	じりき	Sa propre force, ses propres efforts	Le secours venant de soi-même, ne compter que sur soi (s'oppose à <i>tariki</i>)
kagakugijutsu	科学技術	かがくぎじゅつ	Science et technologie, technique scientifique	Cette notion illustre l'absence de rupture entre science et technique au Japon
Kaguya		かぐや	Princesse de la Lune (mythologie japonaise)	Sonde d'exploration lunaire SELENE (<i>SELenological and ENgineering</i>)

				<i>Explorer</i>) auparavant nommée <i>Kaguya lunar orbiter</i>
kaizen	改善	かいぜん	Amélioration continue	Conception philosophique japonaise utilisée comme méthode de travail dans le business
kami	神	かみ	Divinité de la nature	Shintoïsme (religion)
kamikaze	神風	かみかぜ	Vent divin	Type de satellite
Kamisaibara supēsugādo sentā	上齋原スペースガードセンター	かみさいばらスペースガードセンター	Centre de surveillance spatial de Kamisaibara	Kamisaibara Spaceguard Center
kana	仮名	かな	Kana	Caractère issu des deux syllabaires japonais: <i>hiragana</i> et/ou <i>katakana</i>
kanji	漢字	かんじ	Kanji	Caractère chinois présenté sous forme de pictogramme, d'idéogramme ou d'idéogramme composé (avec un autre <i>kanji</i> ou un <i>kana</i>)
Kasei	火星	かせい	Mars	Planète Mars (« astre du feu »)
katakana	片仮名	カタカナ	Katakana	Syllabaire japonais angulaire (partie d'un <i>kanji</i>) utilisé lors de l'emprunt aux termes étrangers ou dans le domaine scientifique
katana	刀	かたな	Katana (sabre du Samurāi)	Symbole de courage et de vertu
keiretsu	系列	けいれつ	Conglomérat	Les quatre <i>Keiretsu</i> ou au Japon sont Mitsubishi, Mitsui, Sumitomo et Yasuda. Un <i>keiretsu</i> comporte des branches spécialisées dans des domaines variés (construction, industrie lourde, industrie automobile, électronique, banque/négoce...)

kibō	希望	きぼう	Espoir	Module scientifique JEM
kiku	菊	きく	Chrysanthème	Satellite de télécommunications
Kinsei	金星	きんせい	Vénus	Planète Vénus (« astre de l'or »)
kirameki	煌めき	きらめき	Étincelle	Satellite de télécommunications
kiribo		きりぼ	Kiribo (nom propre)	Astronaute robotique
kō	孝	こう	Piété filiale	
kōan	公案	こうあん	Question philosophique propice à la méditation	Une pratique du Bouddhisme Zen
kojiki	古事記	こじき	Recueil des Chroniques Anciennes (écrit en +712)	Histoire du Japon / astéroïde n° 5454
kōnotori	鶴	こうのとり	Cigogne (cigogne orientale ou cigogne blanche)	Module de transport HTV (<i>H-II Transport Vehicle</i>) / Module de ravitaillement automatisé de la station spatiale internationale (ISS)
kōnotori 6	鶴 6 号機	こうのとり 6 号機	Cigogne n°6	Mission HTV n°6 (enlèvement de déchets spatiaux)
Ko-on	古恩	こおん	Obligation envers l'ancien	Obligation envers l'empereur du Japon
makoto	誠	まこと	De bonne foi, sincère	
Michibiki	導き	みちびき	Orientation	Satellite de navigation
midori	緑	みどり	Vert	Satellite d'observation de la Terre
mitate	見立て	みたて	Diagnostic, choix, sélection	
mitateru	見立てる	みたてる	Avoir un autre regard sur	Ce verbe illustre le fait que toute reproduction japonaise n'est jamais une simple copie
mogusa	艾	もぐさ	Moxa	Armoise (plante). Brûler du moxa sur la peau sert à cautériser une plaie (mais aussi dans l'éducation japonaise, à infliger une douleur à un

				très jeune garçon turbulent)
Mokusei	木星	もくせい	Jupiter	Planète Jupiter (« astre de l'énergie »)
Mitsubishi	三菱	みつびし	Mitsubishi (entreprise)	Mistubishi fabrique des semi-conducteurs et la fusée N-I. Elle fait partie des quatre grands <i>Keiretsu</i> japonais (系列、けいれつ) ou « conglomérats » avec Mitsui, Sumitomo et Yasuda
muda	無駄	むだ	Gaspillage	
muga	無我	むが	Effacement de soi, « non-moi » (« connaître la sueur du Muga » signifie est au sommet de sa forme)	Discipline personnelle issue du bouddhisme Zen permettant d'atteindre la perfection dans l'action
mujo	無常	むじょう	Impermanence de la vie et des choses (monde en changement permanent)	Concept issu de bouddhisme
mushin	無心	むしん	Absence de pensées obstructives, « non-esprit »	Discipline personnelle issue du bouddhisme Zen
Nihon Shoki	日本書紀	にほんしょき	Les Annales du Japon (écrit en +720)	Histoire du Japon / astéroïde n° 5082 (sous le nom <i>Nihonsyoki</i> dérivé de <i>Nihon shoki</i>)
ninjō	人情	にんじょう	Empathie	Le <i>ninjō</i> s'oppose au <i>giri</i> .
ninmu	任務	にんむ	Tâche, mission, charge, fonction, rôle	Le devoir envers son travail
Nō	能	のう	Théâtre Nō	Forme de théâtre japonais unissant deux traditions: les pantomimes dansées et les chroniques versifiées
nozomi	望み	のぞみ	Souhait, espoir / Ligne du <i>Shinkansen</i> (TGV)	Sonde qui devait orbiter autour de Mars
Okinotori shima	沖ノ鳥島	おきのとりしま	Qui ressemble à une voile	Atoll sous contrôle du Japon qui revendique une zone économique

				exclusive contestée par la Chine, Taiwan et la Corée du Sud
on	恩	おん	Obligation	On rembourse le <i>on</i> en accomplissant son <i>gimu</i> ou son <i>giri</i>
on jin	恩人	おんじん	Homme <i>on</i>	Toute personne redevable d'un <i>on</i> envers autrui
onna no te	女の手	おんなのて	Main de femme / écriture de femme	Nom également donné au syllabaire <i>hiragana</i>
onozukara	自ずから	おのずから	Naturellement, allant de soi	La nature au sens traditionnel (religieux et mystique) n'incluant pas la notion d'ordre.
origami	折り紙	おりがみ	L'art du pliage du papier	
Ōsumi		おおすみ	Nom d'une province au sud du Japon	Nom du 1 ^{er} satellite japonais (1970)
oya on	親恩	おやおん	Obligation envers les parents	
rōmaji	ローマ字		Latin, caractères romains	Lecture de la langue japonaise par l'Occident
Ryūgū-jō	竜宮城	りゅうぐうじょう	Palais du dragon	Le nom de l'astéroïde <i>Ryūgū</i> est issu de <i>Ryūgū-jō</i>
sakigake	先駆	さきがけ	Pionnier, précurseur	1 ^{ère} sonde spatiale japonaise (1986)
sakoku	鎖国	さこく	Isolation nationale, fermeture du pays aux étrangers	Fermeture des frontières du Japon en 1641 (sauf vis-à-vis de la Chine, de la Corée et des Pays-Bas)
samurai	侍	さむらい	Samuraï (guerrier)	
sei	星	せい	Etoile	Astre céleste (sauf la Lune, le Soleil et la Terre)
Senkaku-shotō Senkaku-guntō Senkaku-rettō	尖閣諸島 尖閣群島 尖閣列島	せんかくしょとう せんかくぐんとう せんかくれっとう	Îles Senkaku	Îles revendiquées par le Japon

seppuku	切腹	せつぷく	Suicide rituel	Se faire <i>seppuku</i> signifie « se suicider »
shizen	自然	しぜん	Nature	La nature au sens traditionnel (religieux et mystique) n'incluant pas la notion d'ordre.
shizenkagaku	自然科学	しぜんかがく	Sciences naturelles	La nature au sens scientifique occidental (sciences de la nature) incluant la notion d'ordre.
shinkansen	新幹線	しんかんせん	Train grande vitesse (TGV)	Le TGV (un autre exemple où le Japon a démontré son savoir-faire en termes d'innovation)
shinkō eisei	人工衛星	じんこうえいせい	Satellite artificiel	Satellite créé par l'Homme
shinjū	心中	しんじゅう	Suicide amoureux	Cela fait référence au texte de <i>Sonezaki Shinjū</i> (la mort des amants de Sonezaki) de Mozaemon CHIKAMATSU à l'époque Edo (+1600 à +1868)
shikumi	仕組み	しくみ	Mécanisme facilitateur	
shi no on	師の恩	しのおん	Obligation envers son professeur	
shizuku	滴	しずく	Goutte	Satellite d'observation de la Terre
Shōwa	昭和	しょうわ	Ère Showa	Période de l'histoire du Japon « Showa » (+1926 à +1989), soit l'ère de l'empereur <i>Hirohito</i>
Shūyō	修養	しゅうよう	Discipline de soi, entraînement mental	Discipline de soi permettant d'obtenir l'excellence
susei	彗星	すいせい	Comète	Sonde jumelle de <i>Sakigake</i>
Susei	水星	すいせい	Mercure	Planète Mercure (« astre de l'eau »)
suzaku	朱雀	すぎく	Oiseau vermillon du sud	Satellite Astro-E2 (rayons X)
Taihō-risturyō	大宝律令	たいほうりつりょう	Code Taihō	Code pénal (<i>ristu</i>) et droit

				administratif civil (<i>ryō</i>). Le Japon se dote d'un arsenal juridique complet (d'inspiration chinoise) en + 701.
taisetsu	大切	たいせつ	Important, de valeur	Sens juridique: loi majeure
Taiyō	太陽	たいよう	Le Soleil	Le Soleil (astre solaire)
Takeshima	多景島	たけしま	Caillou flottant / Takeshima (nom de l'île)	Nom japonais d'une île contestée entre le Japon et la Corée du Sud (île nommée <i>Dokdo</i> en coréen)
tamagotchi / tamagocchi	拓麻歌子	たまごっち	Animal virtuel	Mini-robot créé au Japon en 1996
Tanegashima uchū sentā	種子島宇宙センター	たねがしまうちゅうセンター	Centre spatial de Tanegashima	Tanegashima Space Center
tansaki	探査機	たんさき	Sonde spatiale	
tariki	他力	たりき	Aide extérieure c.-à-d. le « sauvetage par la foi »	Le secours venant d'une divinité bienveillante (s'oppose à <i>jiriki</i>)
tenkan	転換	てんかん	Retournement, conversion	Une capacité collective de virage radical, d'adaptation souple à la fois à une nouvelle situation et à de nouvelles valeurs, et ce avec une intime conviction de leur bien-fondé
tsubame	燕	つばめ	Hirondelle	Micro-satellite en orbite très basse mû par propulsion ionique
Tsuki	月	つき	La Lune	La Lune (astre lunaire)
Tsukuba uchū sentā	筑波宇宙センター	つくばうちゅうセンター	Centre spatial de Tsukuba	Tsukuba Space Center
tsunami	津波	つなみ	Raz-de-marée	Le tsunami du 11 mars 2011 fit beaucoup pour que le Japon revoie sa position de « cavalier solitaire » et collabore davantage avec l'ESA.

<i>uchū kikan</i>	宇宙機関	うちゅうきかん	Agence spatiale	
<i>uchū kōkū kenkyū kaihatsu kikō</i>	宇宙航空研究開発機構	うちゅうこうくうけんきゅうかいはつきこう	Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)	Agence spatiale japonaise
<i>wakon yōsai</i>	和魂洋才	わこんようさい	Âme japonaise, savoir étranger (Japanese spirit, Western technology)	Expression de Sakuma SHOZAN préconisant une politique d'ouverture vis-à-vis de l'Occident en s'appropriant ses sciences et techniques mais dans l'esprit de la tradition japonaise
<i>wakon wasai</i>	和魂和裁	わこんわさい	Âme japonaise, savoir japonais	
<i>wakusei</i>	惑星	わくせい	Planète	Planète
<i>yōkon yōsai</i>	洋魂洋才	ようこんようさい	Âme étrangère, savoir étranger (occidental)	
<i>yugen</i>	幽玄	ゆうげん	Profondeur mystérieuse	Thème abordé dans la littérature japonaise (« les 100 poèmes » de <i>Fujiwara no Teika</i> et le théâtre No de <i>Ze Ami</i>)
<i>zoku</i>	俗	ぞく	Vulgaire, populaire (littérature)	Le courant littéraire <i>zoku</i> s'oppose au courant <i>ga</i>

Table des matières

1.	Introduction	1
1.1	Raison d'être de ce mémoire	1
1.2	Approche théorique	1
2.	Démarche méthodologique	2
2.1	Approche adoptée	2
2.2	Les sources	3
2.3	Les limites au présent travail	5
3.	La stratégie spatiale japonaise.....	5
3.1	La stratégie spatiale au travers des objectifs du programme spatial de la JAXA.....	5
3.1.1	Le contexte géopolitique	5
3.1.2	Le Plan de Base de la Politique Spatiale de 2013.....	8
3.1.3	Le contexte juridique	11
3.1.4	La stratégie spatiale militaire	18
3.1.5	Comment le programme spatial japonais est-il vendu au contribuable ?.....	21
3.1.6	La stratégie spatiale en résumé	21
3.2	Les moyens alloués	24
3.2.1	Les moyens humains et l'organisation de la JAXA	24
3.2.2	Les moyens financiers	25
3.3	La JAXA et la coopération internationale.....	26
3.3.1	La coopération dans le cadre de la gestion des débris spatiaux.....	26
3.3.2	La coopération dans le cadre de la prévention des catastrophes naturelles	28
3.3.3	La coopération dans le cadre des missions liées à l'ISS	29
4.	La quête d'innovation	32
4.1	La vision aux rayons X - La mission <i>Hitomi</i> (ひとみ)	33
4.2	La vision en infra-rouge - La mission SPICA	41
4.3	L'innovation résultant d'un échec - La mission <i>Hiten</i> (ひてん).....	45
4.4	La gestion des débris spatiaux - La mission <i>Kōnotori 6</i> (こうのとり 6号機)	47
4.4.1	La nature des problèmes causés par les débris spatiaux.....	47
4.4.2	L'aspect juridique	55
4.4.3	La mission <i>Kōnotori 6</i>	59
4.4.5	Le <i>monitoring</i> américano-nippon des débris spatiaux (<i>Space Situational Awareness</i>)	65
4.4.6	La privatisation de la gestion des déchets spatiaux.....	67
4.5	La découverte de Vénus - La sonde <i>Akatsuki</i> (あかつき) et la voile solaire <i>Ikaros</i>	69

4.6	Les missions d'étude des comètes et astéroïdes - Les missions <i>Hayabusa</i> (はやぶさ) et <i>Tsubame</i> (燕)	72
4.6.1	Un peu d'histoire.....	72
4.6.2	L'aspect juridique.....	73
4.6.3	L'aspect éthique.....	74
4.6.4	Les missions.....	76
4.7	Le transfert vers la Terre de l'énergie solaire	79
5.	L'influence historique et culturelle japonaise.....	81
5.1	Le passé.....	81
5.1.1	Les notions de Yugen (幽玄) et Muga (無我) ou la recherche de l'excellence.....	81
5.1.2	Le code d'honneur	82
5.1.3	Le repli sur soi puis l'ouverture.....	83
5.1.4	L'influence des dieux et déesses de la mythologie	86
5.1.5	L'attraction envers la technique selon le <i>Taihō-risturyō</i> (大宝律令).....	87
5.2	Le présent	88
5.2.1	Le fait d'assumer ses responsabilités ou la version moderne du code d'honneur.....	90
5.2.2	La solidarité : un pré-requis à l'innovation	90
6.	Conclusions	92
6.1	L'importance de l'innovation technologique au Japon	92
6.2	La raison d'être du programme spatial japonais	94
6.3	L'innovation technologique au sein de la JAXA (programme spatial et missions)	96
6.3.1	Le programme spatial japonais est-il innovant ?	96
6.3.2	Le programme spatial japonais est-il innovant dans tous les secteurs ?.....	99
6.3.3	Les effets pervers de l'innovation.....	99
6.3.4	Le mot de la fin.....	100
	Annexes.....	101
	Annexe 1 : Aperçu du programme spatial japonais.....	101
	Annexe 2 : Historique du programme spatial japonais.....	103
	Le père du programme spatial nippon.....	103
	Les lanceurs.....	103
	Les bases spatiales	106
	Le programme satellitaire.....	110
	Les vols habités et la station spatiale internationale.....	111
	Missions vers la Lune	112
	Missions vers Mars.....	115
	Autres missions d'exploration du système solaire	115

La recherche technologique.....	115
Télescopes et observatoires spatiaux.....	117
Le programme spatial militaire japonais.....	118
Annexe 3 : Organigramme de la JAXA.....	120
Annexe 4 : Evolution des budgets spatiaux 2011-2017.....	122
Annexe 5 : Dépenses militaires 2017.....	125
Annexe 6 : La JAXA et la coopération internationale.....	127
Annexe 7 : Coût des missions spatiales japonaises identifiées comme « innovantes ».....	133
Annexe 8 : La notion de dette morale selon la mentalité japonaise.....	134
Le <i>Gimu</i>	138
Le « <i>Giri</i> envers le monde ».....	138
Le « <i>Giri</i> envers son propre nom ».....	138
Les effets pervers de l'obligation de respecter les obligations morales.....	139
Comment acquérir la discipline morale permettant de respecter ses obligations ?.....	140
La gestion de ses obligations : le rôle de l'éducation japonaise.....	141
Conclusions.....	144
Annexe 9 : Quelques valeurs japonaises issues du bouddhisme et du shintō.....	148
Annexe 10 : Questionnaire lié aux interviews.....	151
Annexe 11 : Le poids des investissements en R&D par rapport au PIB.....	154
8. Sources.....	155
8.1 Bibliographie.....	155
8.2 Internet.....	157
8.2.1 L'espace en général.....	157
8.2.2 L'espace : aspects juridiques.....	159
8.2.3 L'espace : aspects budgétaires.....	161
8.2.4 Le rayonnement X.....	161
8.2.5 La vision en infra-rouge.....	163
8.2.6 L'innovation résultant d'un échec - La mission <i>Hiten</i>	164
8.2.7 Les déchets spatiaux (y compris les aspects juridiques) - La mission <i>Kōnotori 6</i>	164
8.2.8 La voile solaire <i>Ikaros</i> - La sonde <i>Akatsuki</i> (mission vers Vénus).....	166
8.2.9 La propulsion ionique - Les sondes <i>Hayabusa</i> et le micro-satellite <i>Tsubame</i>	168
8.2.10 Les effets pervers de l'innovation - La mission <i>Hitomi</i>	169
8.2.11 Le transfert sur Terre de l'énergie solaire.....	169
8.2.12 Le Japon : aspects militaires, politiques et diplomatiques.....	169
8.2.13 Le Japon : la culture et la mythologie.....	171
8.2.14 L'espace : le Japon.....	173

8.2.15	L'espace : la Chine.....	175
8.2.16	L'espace : la Russie.....	176
8.2.17	L'espace : l'Europe	176
8.2.18	L'espace : les États-Unis	176
8.2.19	L'Antarctique.....	176
8.3	Cours	177
8.4	Conférences	178
8.5	Interviews et personnes contactées	180
8.6	Films	180
8.7	Visites.....	181
8.8	Reportages personnels	181
8.9	Bandes dessinées	182
9.	Lexique	183
10.	Lexique des termes japonais.....	186