



HAL
open science

Du big sky à l'espace pollué : l'effet boomerang des débris spatiaux

Arnaud Saint-Martin

► **To cite this version:**

Arnaud Saint-Martin. Du big sky à l'espace pollué : l'effet boomerang des débris spatiaux. *Mouvements : des idées et des luttes*, 2016, 87, pp.36-47. hal-01372147

HAL Id: hal-01372147

<https://hal.science/hal-01372147>

Submitted on 26 Sep 2016

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

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

Du *big sky* à l'espace pollué : l'effet boomerang des débris spatiaux¹

Arnaud Saint-Martin

Le 13 novembre 2015 à 11h48 (6h18 UTC), le débris spatial connu sous le code « WT1190F » plonge dans l'Océan indien, à une centaine de kilomètres au sud des côtes du Sri Lanka. Il vient de se désintégrer après une rentrée atmosphérique non contrôlée à 11 kilomètres par seconde. L'amerrissage en plein jour se déroule sans encombres ni dégâts. Le spectacle très visuel de l'explosion de cette boule de feu attire l'attention des médias, qui transforment la retombée en événement insolite. Les experts pensent qu'il s'agit d'un fragment du module de propulsion d'une sonde envoyée par la NASA vers la Lune en 1998². Le morceau de ferraille *made in US*, large d'1 à 2 mètres et de 450 à 2000 kilogrammes, échoue dans les eaux territoriales des autorités sri-lankaises – qui, impuissantes comme tout le monde, ne peuvent qu'assister à la scène. Toutefois, si impressionnante soit la chute de WT1190F, elle n'en est pas moins anecdotique. Car ces retombées sont courantes. D'après une étude de la NASA en effet, 600 satellites hors-service et diverses épaves sont retombés sur Terre en 2014, soit une centaine de tonnes de déchets³. WT1190F, c'est une bulle dans l'océan.

Dans une indifférence quasi-générale, à distance et invisibles à l'œil nu, des nuées de débris spatiaux somnoient au-dessus de nos têtes. Satellites en panne ou abandonnés depuis des lustres, étages supérieurs de lanceurs suspendus en orbite de transfert depuis la Guerre froide, déchets humains de stations habitées, divers fragments dispersés à la suite d'une collision de satellites en vol : avant 2007, environ 20 000 tonnes de matériaux divers avaient déjà été placées en orbite durant cinquante ans d'activités spatiales⁴. Le nombre des déchets augmente toujours plus. Selon les estimations de l'Agence spatiale européenne (ESA) (plus hautes que celles de la NASA), cette « population » est composée d'environ 29 000 objets de plus de 10 centimètres, de 670 000 de plus d'1 centimètre et de 170 millions de plus d'1 millimètre⁵. En orbite basse (entre 200 et 2000 kilomètres au-dessus de la surface de la Terre), ils se déplacent de 25 à 30 000 kilomètres par heure et la vitesse augmente encore lors d'une collision. Ces pièces sont répertoriées et, pour les débris de plus de 10 centimètres, surveillées en temps réel par des satellites et des stations au sol, notamment le *Space Surveillance Network* de la Défense américaine ou,

¹ Publié dans une version plus courte dans *Mouvements*, n° 87, 2016, p. 36-47.

² Traci Watson, « Falling space debris traced to 1998 lunar mission », *Nature*, 13 janvier 2016.

³ Peter B. de Selding, « Earth Pelted by More than 600 Large Debris Items in 2014, NASA Reports », *Space News*, 10 février 2015.

⁴ Fernand Alby, Jacques Arnould, André Debus, *La pollution spatiale sous surveillance*, Paris, Ellipses, 2007, p. 62.

⁵ « How many space debris objects are currently in orbit? », Clean Space ESA, 25 juillet 2013, URL : http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Engineering_Technology/Clean_Space/How_many_space_debris_objects_are_currently_in_orbit, consulté le 10 février 2016.

en France, le système GRAVES (Grand Réseau Adapté à la VEille Spatiale). Certaines orbites, comme la ceinture géostationnaire située à près de 36 000 kilomètres – qui est indispensable à la météorologie et aux télécommunications – ou bien aussi certaines orbites basses, entre 700 et 1300 kilomètres, sont de plus en plus encombrées⁶. Et ces artefacts déperissent longtemps, de plusieurs années en orbite très basse jusqu'à un siècle et plus au-delà d'un millier de kilomètres d'altitude.

Le temps est loin de la ruée frénétique et insouciante vers l'espace, après les premiers *bips* de *Sputnik* en 1957. Chez les experts de la *space security*, les responsables des agences spatiales et les hauts gradés des forces militaires, les superlatifs ne sont jamais assez forts pour qualifier cette menace globale à la « soutenabilité » des activités spatiales les décennies qui viennent. Pour certains, la multiplication des accidents depuis les années 2000 laisse entrevoir un scénario noir : les collisions créent en cascade toujours plus de débris. C'est le « syndrome » anticipé par le scientifique de la NASA Donald Kessler à la fin des années 1970⁷. La gestion de cette pollution spatiale⁸, qui inclut aussi la contamination par des micro-organismes terrestres dans l'espace, en particulier sur les planètes visitées par des *rovers* ou des modules habités, ou l'usage – certes marginal, mais tout de même avéré – d'énergie radioactive pour la propulsion des sondes envoyées aux confins du système solaire, est aujourd'hui un casse-tête. Comment y faire face ? Quelles stratégies mettre en œuvre ? Prévenir ? Atténuer ? Dépolluer ? Tout à la fois ? Qui est responsable de la situation ? Comment garantir l'accès aux orbites à des puissances spatiales qui, elles, sont jeunes et n'ont pas pollué ? Qui fait autorité politique et légale dans le traitement comme l'éventuel règlement de ce qui est en passe de devenir un problème public à l'échelle (extra)planétaire ? Mais aussi, comment les acteurs de l'astronautique en sont-ils arrivés à ce point si manifestement critique que l'occupation de l'espace apparaît à l'avenir incertaine et précaire ? La revue de la littérature spécialisée et des observations tirées de mes enquêtes sur les organisations astronautiques permettent de faire le point et d'identifier les implications et les dilemmes liés à l'augmentation chaotique, sous contraintes systémiques, du trafic orbital.

L'institutionnalisation du problème des débris spatiaux

La conscience des risques des débris spatiaux n'est pas récente. Elle accompagne l'essor des activités spatiales. Au début des années 1970, les ingénieurs de la NASA cherchent à évaluer l'« impact » environnemental de l'exploration spatiale. Les restes des lanceurs, des satellites ou des engins habités sont classés comme déchets. Les rares experts des agences qui s'attardent sur ce sujet périphérique estiment que les débris cons-

⁶ Christy Collis, « The Geostationary Orbit: A Critical Legal Geography of Space's Most Valuable Real Estate », in Lisa Parks & James Schwoch (eds.), *Down to Earth: Satellite Technologies, Industries, and Cultures*, New Brunswick, Rutgers University Press, 2012, p. 61-81.

⁷ Les Johnson, *Sky Alert! When Satellites Fails*, New York, Springer/Praxis, 2013, p. 174-183.

⁸ En plus des débris spatiaux, la pollution spatiale inclut la contamination par des micro-organismes terrestres dans l'espace, en particulier sur les planètes visitées par des *rovers* ou des modules habités, ou l'usage – certes marginal, mais tout de même avéré – d'énergie radioactive pour la propulsion des sondes envoyées aux confins du système solaire. Voir Fernand Alby, Jacques Arnould, André Debus, *op. cit.*

tituent un danger réel mais lointain. C'est que la théorie autochtone du « *big sky* » prévaut dans les heures fastes de la Conquête spatiale : l'espace extra-atmosphérique est un espace-frontière sans limites, qui n'appartient à personne, à occuper ici et maintenant⁹.

Les projections au tournant des années 1980 laissent néanmoins deviner un début d'inquiétude : lorsque l'occupation satellitaire de l'espace se généralisera, le risque d'une pollution par les débris grandira en conséquence. Conférences du Committee on Space Research, *workshops* d'experts, centres de recherche dans les agences et les laboratoires de *space sciences* : au cours des années 1980, la surveillance des débris spatiaux s'institutionnalise au sein de la communauté spatiale¹⁰. C'est une affaire d'experts de haut niveau des agences spatiales et de juristes. « Pour garantir l'utilisation future de l'espace proche de la Terre, souligne ainsi l'un d'eux, des mesures doivent être prises contre les débris spatiaux »¹¹. Des guides de bonnes pratiques sont édités et circulent. En 1993 est mise en place l'Inter-Agency Space Debris Coordination Committee (IADC) du Committee on the Peaceful Uses of Outer Space (COPUOS) des Nations Unies, qui fonctionne comme un « forum » où les agences spatiales (à commencer par la NASA, précurseur en la matière) mettent en partage leurs expériences et tentent de faire converger leurs protocoles¹². Le problème sur lequel butent les experts est celui de la mise en œuvre globale des stratégies de prévention. Non seulement une poignée d'agences spatiales se disent concernées mais, en plus, au moins au cours des années 1990, ces préconisations n'incluent pas les opérateurs privés et les militaires¹³. L'ère du *big sky* se referme, mais les reliques de la Guerre froide ne disparaissent pas. Par exemple, la cinquantaine de satellites inactifs (américains et, surtout, soviétiques) propulsés par de l'énergie nucléaire, à environ 1000 kilomètres d'altitude, est une menace pour les autres satellites et – lorsqu'ils se désintègrent dans l'atmosphère – les « populations » au sol¹⁴.

À la fin des années 1990, les discours changent de ton, le sentiment d'urgence s'insinue¹⁵. La collision entre un étage d'Ariane 4 et le microsatellite militaire français Cerise le 24 juillet 1996 est un avertissement. Le risque n'est plus théorique, la prévention est une nécessité fonctionnelle. Si le défi technique est immense, les ingénieurs et les experts commencent à mettre en avant le retrait actif des déchets, en plus des stratégies d'atténuation. Des agences spatiales veulent montrer que le passage de la théorie à la pratique n'est pas hors de portée, à l'exemple du CNES qui parvient à désorbiter *Spot 1* en 2004¹⁶. En 2006, un code de conduite européen est adopté par l'ESA et d'autres agences

⁹ Adam Mann, « Space: The Final Frontier of Environmental Disasters? », *Wired.com*, 15 juillet 2013.

¹⁰ Luboš Perek, « Space debris and the world community », *Space Policy*, vol. 7, n° 1, 1991, p. 9-12.

¹¹ Elmar Vitt, « Space debris: Physical and legal considerations », *Space Policy*, vol. 5, n° 2, 1989, p. 137 [129-137].

¹² Pour un début de bilan, voir John A. Simpson (ed.), *Preservation of Near-Earth Space for Future Generations*, Cambridge, Cambridge University Press, 1994.

¹³ Richard Boudreault, « The greening of space? », *Space Policy*, vol. 9, n° 4, 1993, p. 344-345.

¹⁴ Nicholas L. Johnson, « Nuclear power supplies in orbit », *Space Policy*, vol. 2, n° 3, 1986, p. 223-233.

¹⁵ Mark Peplow, « Space in urgent need of cleaning », *Nature*, 19 janvier 2006.

¹⁶ Fernand Alby, « Spot 1 End of life disposition manœuvres », *Advances in Space Research*, vol. 35, n° 7, 2005, p. 1335-1342.

spatiales nationales (France, Italie, Allemagne, Royaume-Uni)¹⁷. En 2007, le COPUOS publie son « *Space Debris mitigation guidelines* » (sur la base d'un texte de l'IADC de 2002), adopté par nombre d'agences les années qui suivent. Il est préconisé d'assurer un retrait de l'orbite basse de travail après 25 ans de service, en vue d'une rentrée atmosphérique contrôlée (ou pas). Les satellites géostationnaires, eux, sont retirés de la ceinture vers une orbite « cimetière » 200 à 300 kilomètres au-dessous. À la lumière de ces recommandations, c'est la conduite post-opérationnelle des missions qui se trouve reconfigurée : les agences (se) doivent (d') anticiper sur la fin de vie des satellites et chercher les meilleures solutions pour qu'ils disparaissent sans laisser de traces¹⁸. Ces dispositions sont consolidées progressivement par les États. C'est le cas en France avec la loi spatiale promulguée en 2008, dont l'article 5 prescrit la nécessité de « limiter les risques liés aux débris spatiaux » et les règlements techniques associés obligent les opérateurs à contrôler la fin de service et la rentrée atmosphériques selon un cahier des charges très précis¹⁹. Elles sont également harmonisées dans la chaîne industrielle par l'International Standards Organization (ISO) en 2010. Charge à l'industrie manufacturière de les appliquer, en coopération avec les agences spatiales qui leur commandent les systèmes techniques en établissant des spécifications certifiées – tout en maintenant leur compétitivité malgré le surcoût d'une mise aux normes.

Contrôler dans un monde orbital encombré

Du « *big sky* » à l'espace extra-atmosphérique à protéger, le problème des débris s'est donc institutionnalisé : il est reconnu et placé à l'agenda des politiques spatiales. Si parmi les responsables et experts des agences de la réflexion stratégique sur le devenir des activités spatiales, c'est aussi parce que les agences et les opérateurs ne peuvent plus les ignorer. C'est devenu un problème opérationnel général et chacun est comptable des décisions qu'il est amené à prendre. La conduite des systèmes orbitaux compose désormais avec les nuées de débris qui peuvent la gêner. Des probabilités de collision sont calculées à partir des données acquises par les systèmes interconnectés du *space situational awareness*. Quoique rares, les manœuvres d'évitement font partie intégrante du contrôle au sol des systèmes. Ces manœuvres consistent à activer pendant quelques secondes les propulseurs sur la plateforme satellite, ce qui a pour effet de changer son amplitude ou sa direction. Les opérateurs des centres de contrôle reçoivent quotidiennement plusieurs bulletins les informant des risques de collision. S'il le faut, ils décident de corriger provisoirement la trajectoire.

La vigilance est ainsi de mise, *a fortiori* dans les zones plus encombrées. Elle peut l'être également lors des séquences les plus critiques de la LEOP (*Launch and Early Orbit Phase*). Entre autres illustrations, la mise en orbite du premier satellite de 2,3 tonnes *Sentinel-1A*

¹⁷ Fernand Alby, « 30 Years of Space Debris Mitigation Guidelines in Europe », in Tommaso Sgobba, Isabelle Rongier (eds.), *Space Safety is No Accident*, Dordrecht, Springer, 2015, p 3-11.

¹⁸ Sur les missions du CNES, voir Bernard Cabrières, Fernand Alby, Christian Cazaux, « Satellite end of life constraints: Technical and organisational solutions », *Acta Astronautica*, vol. 73, 2012, p. 212-220.

¹⁹ Voir Mireille Couston, *Droit spatial*, Paris, Ellipses, 2014, p. 115-119.

du programme européen *Copernicus*. Le soir du 4 avril 2014, les contrôleurs du Centre européen des opérations spatiales de l'ESA basé à Darmstadt, en Allemagne, reçoivent une « alerte sérieuse » de la part des collègues de la NASA : un de leurs satellites, ACRIMSAT, dont le contact est perdu en 2013, risque d'entrer en collision avec *Sentinel-1A*, alors en cours de déploiement sur une orbite polaire à 680 kilomètres d'altitude²⁰. « Distance : 20 mètres. C'est grave. Ce n'est plus une fiction hollywoodienne, c'est *Gravity* pour de vrai ! »²¹ : les contrôleurs n'ont d'autre option que de tenter dans l'urgence et l'improvisation – ce scénario n'avait jamais été envisagé – une manœuvre d'évitement d'une quarantaine de secondes alors que *Sentinel-1A* n'est pas encore à poste. La trajectoire du satellite est finalement corrigée et la collision heureusement évitée. Si les contrôleurs en ont plaisanté dès le lendemain, ils savent qu'ils ont frôlé la catastrophe. Interviewé par le journal *Space News*, le directeur de vol surenchérisait en signalant, non sans ironie, que « l'ESA a été obligée d'éviter un satellite américain hors-service, quelques jours après que la station spatiale internationale gérée par la NASA eut effectué une manœuvre similaire afin d'éviter un gros morceau de débris, plus tard identifié comme étant une structure satellite de soutien utilisée pour les lancements d'Ariane 5 »²².

Confiné dans les arènes réglementaires de la politique spatiale, le problème des débris apparaît néanmoins peu à peu dans l'espace public, à la faveur d'événements marquants et, pour certains, inquiétants. Les retombées sur la terre ferme sont extrêmement rares, mais toujours possibles. Florilège de précédents historiques : (1) le 24 janvier 1978, le satellite espion soviétique *Kosmos 954* propulsé par un réacteur nucléaire s'écrase dans le Grand Nord canadien, irradiant une zone de 600 km² ; (2) durant l'été 1979, une vingtaine de tonnes du *Skylab* de la NASA s'abîment dans le désert australien ; (3) en février 1991 également, des éléments de la station soviétique *Saliout 7* échouent sur le sol Argentin après une rentrée non contrôlée²³. Ces crashes frappent les esprits *sur le moment*, sans pour autant que les activités spatiales soient véritablement remises en cause : les agences spatiales contrôlent, et la caravane satellitaire passe. En revanche, leur communication publique peut se trouver dépassée quand l'annonce d'une rentrée atmosphérique capte l'attention des médias et attise les fantasmes culturels, par exemple la rentrée pas si aisément contrôlable des 140 tonnes de la station *Mir* le 23 mars 2001 dans l'océan pacifique²⁴, rentrée que le couturier Paco Rabanne transforma en présage de fin du monde.

Entre les professionnels et les profanes, la distance est grande dans la perception des risques. Pour les ingénieurs cela relève du *business as usual*, malgré l'adhésion de rigueur

²⁰ Stephen Clark, « Sentinel satellite's first day in space was unusually tense », *SpaceflightNow.com*, 11 avril 2014.

²¹ Compte rendu de la manœuvre par l'équipe de *Sentinel-1A* : « A night shift like never before », 7 avril 2014, URL : <http://blogs.esa.int/eolaunches/2014/04/09/a-night-shift-like-never-before>, consulté le 22 février 2016.

²² Peter B. de Selding, « Close Call: Europe's Just-launched Sentinel-1A Dodges Dead Satellite », *Space News*, 10 avril 2014.

²³ Fernand Alby, Jacques Arnould, André Debus, *op. cit.*, p. 16-17.

²⁴ Antony Milne, *Sky Static: The Space Debris Crisis*, Wesport, Praeger, 2002, p. 1-9.

au slogan à la Coué « *failure is not an option* ». La culture organisationnelle des agences spatiales s'est historiquement accommodée de la dangerosité intrinsèque des opérations spatiales²⁵. C'est ce qu'a démontré Diane Vaughan dans son enquête sur l'« échec organisationnel » de l'accident de la navette *Challenger* en 1986 (dont une bonne partie est retombée sur le Texas) : le risque est entré dans les calculs probabilistes et s'est normalisé via un *management* procédant par concession et acceptation des désastres à venir²⁶. S'agissant du risque d'impact de débris sur les navettes ou la Station spatiale internationale, une commission indépendante du National Research Council américain a conclu en 1997 que la NASA ne l'avait pas correctement apprécié, allégation que les ingénieurs contredirent, arguant de l'expérience accumulée des dizaines de missions sans problème majeur. Il n'empêche que, le 25 octobre 1999, le centre de contrôle de la Station spatiale internationale (ses astronautes à bord à partir de 2000, ses 400 tonnes, son coût dépassant 100 milliards de dollars, etc.) a été forcé de changer d'orbite pour éviter une collision avec un étage usé du lanceur russe Pegasus situé à 15 miles, qui eût été fatale²⁷. Depuis lors, 21 manœuvres d'évitement ont été réalisées (5 en 2014)²⁸, dont certaines sont spectaculaires, vu la faible distance des débris évités²⁹. Afficher à l'extérieur une forme de maîtrise par une communication apaisante, même par gros temps, c'est l'évidence. Et les ingénieurs de la NASA et leurs homologues des autres agences spatiales de se consoler du fait que, par le jeu d'un raisonnement contrefactuel rassurant (« par chance le pire a été évité »), la situation est sérieuse sans être pour autant désespérée.

Un gros boulet orbital ? Faire avec Envisat

Concevoir, construire, lancer puis opérer un système orbital, c'est le B-A-BA des agences et des opérateurs. Mais il est un temps où la mission s'achève. L'obsolescence des satellites est programmée, une fois consommés ils continuent d'occuper une portion de l'espace proche, jusqu'à une rentrée atmosphérique dans un avenir plus ou moins lointain³⁰. S'ils ne sont pas déplacés vers une orbite « cimetière » plus bas, les satellites de la ceinture géostationnaire, eux, resteront à poste des milliers d'années. Dans l'intervalle, les radars et les télescopes sont braqués. Cette mécanique, huilée dans les réglementations internationales et les plaquettes de communication des industriels, peut en revanche se gripper. Prenons un cas, particulièrement évocateur. Le 1^{er} mars 2002 à Kourou est lancé Envisat (ENVironnement SATellite) à bord d'Ariane 5. Placé sur

²⁵ Robert Bell, *Les péchés capitaux de la haute technologie. Superphénix, Eurotunnel, Ariane 5...*, trad., Paris, Seuil, 1998.

²⁶ Diane Vaughan, *The Challenger Launch Decision: Risky Technology, Culture, and Deviance at NASA*, Chicago, University of Chicago Press, 1996.

²⁷ David Shayler, *Disasters and Accidents in Manned Spaceflight*, Chichester, Praxis/Springer, 2000, p. 417-419.

²⁸ « International Space Station Performs Fourth and Fifth Debris Avoidance Maneuvers of 2014 », *Orbital Debris Quarterly News*, vol. 19, n° 1, 2015, p. 1-2.

²⁹ « Debris Gives Space Station Crew Members a 29,000-M.P.H. Close Call », *The New York Times*, 28 juin 2011.

³⁰ S'ils ne sont pas déplacés vers une orbite « cimetière » plus bas, les satellites de la ceinture géostationnaire, eux, resteront à poste des milliers d'années.

une orbite héliosynchrone à 800 kilomètres d'altitude, il s'agit du plus gros satellite civil d'observation de la Terre jamais conçu. Envisat, c'est au départ 2,3 milliards d'euros (lancement et 5 années d'exploitation compris), un encombrement de 10 mètres sur 5 mètres (26 avec le panneau solaire), 8,2 tonnes de *high-tech*, 10 instruments optiques et radars pour observer divers « paramètres » et phénomènes observables du système Terre (océan, sols, atmosphère, catastrophes naturelles, etc.) ou les effets du changement climatique³¹. Quand les autres agences spatiales optent pour des missions plus agiles et moins coûteuses (à l'instar de la NASA), l'ESA, elle, fait de ce « dernier des dinosaures »³² l'avant-garde de son programme d'observation de la Terre pour la décennie 2000. Et c'est manifestement un succès : d'une part, les masses de données sont vite utilisées par des milliers de chercheurs et, d'autre part, les services fournis servent de démonstration au futur programme-phare de l'Union européenne, le *Global Monitoring for Environment and Security*³³.

En 2009, c'est-à-dire à la veille de son débranchement, l'ESA décide de repousser encore la durée de vie initiale (5 ans) de la mission jusqu'en 2013 (soit 11 ans), malgré l'usure et l'épuisement relatif du réservoir d'hydrazine³⁴. Des observateurs s'en alarment, y compris au sein de l'ESA, d'autant plus que la collision récente d'un satellite de télécommunication Iridium et d'un satellite militaire russe vient de générer près de 800 pièces de plus de 10 centimètres³⁵. Après des manœuvres, Envisat est néanmoins replacé sur une orbite 20 kilomètres plus bas moins exposée aux risques et poursuit ses opérations. Anticipant le lancement prévu de la mission *Sentinel-1A* en 2012 (il interviendra finalement le 3 avril 2014), l'argument de la continuité de service opérationnel est avancé, au grand soulagement des communautés d'utilisateurs.

Seulement le 8 avril 2012, Envisat ne répond plus aux commandes, sans que les opérateurs de l'ESA ne sachent pourquoi. Il est visible depuis le sol par des instruments radars et, à une centaine de kilomètres plus bas, a été photographié par le satellite français *Pléiades*. Après de vaines tentatives d'entrer en contact, l'ESA officialise la perte du satellite le 9 mai 2012³⁶. Les premières projections inquiètent les spécialistes. Le satellite devant orbiter dans l'espace pendant encore quelque 150 ans, il y aurait entre 15 et 30% de risques qu'il précipite un désastre dans l'état actuel des débris répertoriés – et bien plus

³¹ « March 1, 2002: ESA's Largest Earth Observation Satellite Launched », *Space News*, 29 juin 2004 ; John Krige, *Fifty Years of European Cooperation in Space: Building on its Past, ESA Shapes the Future*, Paris, Beauchesne, 2014, p. 390-391.

³² Pierre Bathelémy, « Le monumental satellite Envisat auscultera notre environnement », *Le Monde*, 17 février 2001.

³³ Jérôme Lamy, Arnaud Saint-Martin, « Politique de l'observation de la Terre », in Michel Avignon, Cathy Dubois, Philippe Escudier (dir.), *Observer la Terre depuis l'espace. Enjeux des données spatiales pour la société*, Paris, Dunod, 2014, p. 215-238.

³⁴ Peter B. de Selding, « ESA To Keep Envisat Flying Despite Low Fuel Supply », *Space News*, 6 juillet 2010. L'année suivante, le directeur de l'observation de la Terre à l'ESA repoussait encore à la fin 2014.

³⁵ Geoff Brumfiel, « Collision debris increases risk to Earth-observing satellites », *Nature*, vol. 458, 16 avril 2009.

³⁶ « ESA Declares End of Mission for Envisat », *Space Research Today*, vol. 184, 2012, p. 13-14.

dans l'hypothèse (réaliste) que le nombre des débris tende à augmenter de façon exponentielle, comme certains modèles le prévoient³⁷. En 2011, Envisat avait fait l'objet d'une soixantaine d'alertes anti-collisions et trois manœuvres d'évitement ont été réalisées. On imagine que cette situation n'est pas près de changer les années qui viennent.

Le débat s'est animé au sein de la communauté spatiale. La décision des responsables de l'ESA a fait l'objet de critiques nourries. Selon une juriste de l'International Institute of Space Law, l'agence pourrait être rendue responsable de « négligence », voire de « négligence grave », si jamais cette « bombe à retardement » entraînait une collision dans un avenir plus ou moins proche³⁸. Ce à quoi les porte-parole de l'ESA ont rétorqué qu'à l'époque de la conception d'Envisat, c'est-à-dire vers la fin des années 1980, non seulement le danger des débris était peu avéré – ce qui n'est pas tout à fait correct, comme on l'a souligné précédemment –, mais qu'en outre il n'existait alors pas de protocoles de désorbitation réglementaires, chaque agence décidant d'elle-même de gérer (ou pas) le problème³⁹. Le volume du réservoir d'hydrazine suffisant pour les seules opérations en vol, il n'était pas prévu que le « dinosaure »⁴⁰ regagne l'atmosphère avant un bon siècle. Pour l'ESA, ce qui est évalué après-coup comme un *design* déficient et coupable en 2012 n'était tout simplement pas concevable 25 ans plus tôt. C'est néanmoins faire fi des mises en garde et des critiques qui proliférèrent dès les premières phases de conception d'Envisat, et surtout s'en tirer à bon compte. Quoi qu'il en soit des imputations de responsabilité et des arguties technico-juridiques des uns et des autres, la menace est à présent considérée comme sérieuse.

La perte d'Envisat marque ainsi un tournant dans l'appréhension du problème des débris. Bien plus inquiétant est le désastre qui vient, latent et statistiquement inévitable, en comparaison des collisions passées. Dans l'attente d'une hypothétique désorbitation vers 2021-2022, qui sera périlleuse et coûteuse quoi qu'il arrive, la trajectoire d'Envisat est surveillée. L'ESA, qui fit la « Une » le 12 novembre 2014 en parvenant à poser l'atterrisseur *Philae* sur la comète 67P/Tchourioumov-Guérassimenco, est forcée de trouver une solution⁴¹. D'autant plus qu'Envisat est maintenant en passe de devenir une figure machinique de la *pop culture*, contrastant avec la vision héroïque de l'exploration spatiale. Signe de cette percée, un court article rédigé par de jeunes étudiants en physique de l'université de Leicester, rapidement cité dans la presse anglaise, dans lequel ils rapprochent le scénario d'Envisat et le *blockbuster* hollywoodien *Gravity*, sorti en salles en octobre 2013⁴². Le film déroule le *script* « catastrophe » d'une explosion en chaîne à la suite de la destruction d'un satellite russe « mort » par un missile d'origine inconnue, impliquant rien de moins que trois astronautes, la navette spatiale *Explorer*, le télescope *Hubble*, la Station spatiale internationale, dans une immense nuée de débris. Or, selon

³⁷ Peter B. de Selding, « ESA Denies Ignoring Debris Guidelines on Envisat », *Space News*, 15 octobre 2012.

³⁸ Peter B. de Selding, « Envisat Puts ESA in Unenviable Position », *Space News*, 5 octobre 2012.

³⁹ Peter B. de Selding, « ESA Denies Ignoring Debris Guidelines on Envisat », 15 octobre 2012.

⁴⁰ Pierre Bathélémy, « Le monumental satellite Envisat auscultera notre environnement », art. cit.

⁴¹ « Ciel, l'espace est une poubelle », *LeJDD*, 11 mai 2004.

⁴² « Satellite Envisat could spark "Gravity" style debris cloud », *The Independent*, 20 février 2014.

les calculs des étudiants, Envisat et ses 8 tonnes en déshérence risquent de produire un désastre d'ampleur. La gravité de la situation apparaît dès lors, et Envisat, « aussi fragile qu'un sapin de Noël lourdement décoré »⁴³, d'éclairer désormais un catastrophisme à bas bruit.

C'est dire que cette lente déchéance d'Envisat interroge. Donald Kessler note qu'« il semble paradoxal qu'un satellite destiné à surveiller l'environnement de la Terre constitue un danger dans l'environnement spatial et qu'il soit en passe de devenir un contributeur majeur de l'environnement des débris »⁴⁴. En même temps, aucune agence n'est à l'abri d'avaries en vol ou de contretemps dans le suivi de mission. Parmi d'autres précédents, la rentrée non contrôlée de la plateforme *Upper Atmosphere Research Satellite* de la NASA le 24 septembre 2011 dans l'océan pacifique. Une quinzaine de jours plus tôt, les ingénieurs de la NASA annonçaient que la retombée « quelque part » de ce « petit bus » de 6,5 tonnes lancé en 1991 pouvait présenter un risque pour le public, fût-il « infinitésimal »⁴⁵, et cela a suffi à créer un début de panique partout où la « forme blanche fantomatique » observée à distance⁴⁶ avait des chances de s'écraser⁴⁷.

Éboueurs de l'espace, New Space et arsenalisation

Les agences et les industriels de la filière ont compris depuis longtemps qu'il est dans leur intérêt de promouvoir une astronautique « soutenable ». D'abord parce que c'est la condition *sine qua non* d'une occupation durable de l'espace extra-atmosphérique. Cela relève aussi de la cohérence programmatique et normative : les données des satellites d'observation de la Terre sont désormais indispensables pour attester les effets du changement climatique et, par extension, garantir l'application des accords ratifiés à la suite de la COP 21. Pro-actifs sur la scène de l'« environnementalisme global », les acteurs du spatial sont donc enjointés à l'exemplarité. Mais promouvoir une industrie spatiale « verte », c'est par surcroît la promesse de marchés émergents et à conquérir. Il est difficile de faire la part entre l'orientation « écologique » responsable et le *greenwashing* le plus commun, mais toujours est-il que les agences spatiales comme les manufacturiers s'engagent de plus en plus sur la voie, « éthique », du spatial « propre ».

La lutte contre la prolifération des débris en est un aspect. Les ingénieurs qui se présentent volontiers comme des « écolos spatiaux »⁴⁸ et les *startups* de R&D ne sont pas à cours de concepts et de solutions futuristes pour « nettoyer » l'espace. Dans l'absolu, rien n'est impossible : qu'il s'agisse de filets, de lasers, de harpons, de bras, de modules aspirateurs, etc., les coûts/bénéfices de chaque technologie sont appréciés sur le papier. Ces projets d'« ébouage de l'espace » sont financés sur les fonds de R&D publics, par exemple

⁴³ Peter B. de Selding, « Europe's Massive Envisat Goes Silent, Jeopardizing GMES Transition », *Space News*, 12 avril 2012.

⁴⁴ Andrea Gini, « Don Kessler on Envisat and the Kessler Syndrome », *Space Safety Magazine*, 25 avril 2012.

⁴⁵ « It's Safe to Go Outside: NASA Says Its Falling Satellite Will Miss the U.S. », *The New York Times*, 23 septembre 2011.

⁴⁶ « Ghostly Images of Satellite Falling to Earth », *The New York Times*, 22 septembre 2011.

⁴⁷ « Où va tomber le satellite à la dérive de la NASA ? », *Le Monde*, 23 septembre 2011.

⁴⁸ « La pollution spatiale risque d'entraver l'activité orbitale », *Le Monde*, 25 avril 2013.

dans le cadre du programme *Clean Space* de l'ESA, et agitent même aux États-Unis une *debris community* »⁴⁹. L'engouement du début des années 2010 retombe quelque peu néanmoins, car si l'imagination des ingénieurs et des scientifiques n'a pas de limites, les points d'achoppement sont nombreux : absence de *business model*, coûts prohibitifs, attentisme des éventuels clients (les agences et les opérateurs)⁵⁰ et, surtout, responsabilité juridique de l'« éboueur » engagée en cas d'accident consécutif à une opération de nettoyage⁵¹. Ces solutions relevant de l'anticipation à horizon 2020, il reste d'autres marchés à consolider, par exemple celui du *space situational awareness*, c'est-à-dire la surveillance des débris que les agences pourraient externaliser⁵². Au total, ces percées attestent la capacité de l'économie de marché capitaliste à surmonter ses contradictions en assimilant les mêmes rejets et déchets qui en fragilisent le développement pour en faire de nouvelles valeurs profitables. Le « *outer space fix* », en tant que correctif fonctionnel du système marchand globalisé, maintient ainsi les cycles d'accumulation du capital⁵³.

Les « éboueurs de l'espace » ne manqueront sans doute pas de contrats de nettoyage les décennies qui viennent. Les projections à 2030 laissent entrevoir une effervescence dans la filière spatiale : toujours plus de lancements, des méga-constellations de satellites miniaturisés, une diversification des acteurs privés et des usages⁵⁴. L'émergence du *New Space* des entrepreneurs « visionnaires » de la Silicon Valley et des géants de l'Internet assez dotés pour lever des centaines de millions de dollars change la donne. Les agences spatiales publiques et les institutions réglementaires onusiennes ne disparaissent pas, cependant qu'elles sont aujourd'hui amenées à composer avec l'enthousiasme capitalistique d'acteurs rompus à l'idéologie libertarienne qui, sous couvert d'une « démocratisation de l'espace »⁵⁵, prônent la libre entreprise, l'effacement du gouvernement, la dérégulation et la recherche de profits à court-terme⁵⁶. Pour les *startups* projetant d'opérer des dizaines de nanosatellites en orbite basse⁵⁷, pour des missions d'observation de la Terre ou des services de télécommunication, les réglementations toujours plus contraignantes dans l'accès et l'usage de l'espace sont autant de freins. Ces plateformes *low cost* et fabriquées à la chaîne commencent à être déployées

⁴⁹ Evan I. Schwartz, « The Looming Space Junk Crisis: It's Time to Take Out the Trash », *Wired.com*, 24 mai 2010.

⁵⁰ « Companies Have Technologies, but Not Business Plans, for Orbital Debris Cleanup », *Space News*, 25 novembre 2014.

⁵¹ Brian Weeden, « Overview of the legal and policy challenges of orbital debris removal », *Space Policy*, vol. 27, n° 1, 2011, p. 38-43.

⁵² « Private firms spy a market in spotting space junk », *Nature*, 23 September 2015.

⁵³ Peter Dickens, James Ormrod, « Globalization of space: from the global to the galactic », in Brian Turner, *The Routledge International Handbook of Globalization Studies*, Abingdon, Routledge, 2010, p. 531-555.

⁵⁴ Louis Brennan, Alessandra Vecchi, *The Business of Space: The Next Frontier of International Competition*, New York, Palgrave Macmillan, 2011.

⁵⁵ Declan Butler, « Many eyes on Earth », *Nature*, 9 janvier 2014, p. 143-144.

⁵⁶ Patrick McCray, *The Visioneers: How a Group of Elite Scientists Pursued Space Colonies, Nanotechnologies, and a Limitless Future*, Princeton, Princeton University Press, 2013, p. 262-263.

⁵⁷ « Startup Liftoff », *Science*, 6231, 10 avril 2015, p. 172-177.

par dizaines (et le seront par milliers les années à venir, selon les prévisions⁵⁸), certaines au-delà de 650 kilomètres d'altitude, sans pour autant que les opérateurs privés ne prévoient pour l'instant de protocole de rentrée atmosphérique contrôlée (les plateformes ne disposent généralement pas de propulsion à bord pour les manœuvres)⁵⁹. Aussitôt hors-service (parfois le lendemain de la mise en orbite), aussitôt remplacé, mais nombreux sont les nanosatellites à rester dans l'espace au-delà des 25 ans « réglementaires ». Le droit spatial international s'adapte à ce spatial *Kleenex*. Le Traité de 1967 indique que chaque État est responsable des activités des entités gouvernementales et privées sur lesquelles il exerce sa juridiction. En cas de défaillance ou de dommages humains ou matériels d'un opérateur privé (par exemple, un *cubesat* de 10 centimètres de côté opéré par une petite compagnie californienne entre en collision avec un satellite scientifique japonais), c'est l'État ayant immatriculé l'engin et devant surveiller les activités de ses « sujets » qui devra régler des compensations financières si l'assurance du même opérateur n'est pas suffisante⁶⁰. Ces questions sont actuellement l'objet d'intenses débats. Bien que les *startups* tardent à développer des systèmes techniquement en règle, la normalisation du *New Space* suit son cours. Car les *leaders* du spatial-pour-tous ne peuvent pas ne pas respecter les bonnes pratiques édictées par les organisations gouvernementales et internationales autorisées – règles « surmoïques » qui, *in fine*, garantissent leur crédibilité sur le marché et les subventions publiques, c'est-à-dire leur première source de revenu.

Il est en revanche plus compliqué de contraindre des organisations dont la transparence est toute relative, d'autres qui font fi des risques ou, pire, un « État voyou » au ban de la communauté internationale. Ces sujets n'ont pas fini d'occuper les militaires, les diplomates et les experts de la « sécurité spatiale », dans le contexte de l'arsenalisation de l'espace. Le « test » chinois de 2007 est à cet égard un moment critique de l'histoire de la pollution spatiale. Le 11 janvier 2007, un missile anti-satellite de l'armée chinoise pulvérise le satellite météorologique « mort » *Fengyún-1C*, situé sur une orbite à 865 kilomètres d'altitude. Tollé diplomatique, ce tir a provoqué une augmentation sans précédent des débris de plus de 10 centimètres (environ 2300) dans cette zone pourtant stratégique⁶¹. Les discours environnementalistes des agences spatiales civiles butent ici sur la rationalité belliciste et limitée des défenses nationales, qui se préparent à de nouvelles escalades dans la course à l'armement spatial à l'avenir. Autre cas de figure, plus alarmant : l'impossibilité dans laquelle se trouve la communauté spatiale internationale – la communauté internationale tout court – de faire entendre (sa) raison à la Corée du Nord. Le 7 février 2016, l'agence spatiale nord-coréenne est parvenue à placer sur orbite basse un satellite *Kwangmyongsong-4* d'observation de la Terre (selon la version officielle)⁶². Cette

⁵⁸ « Nanosats are go! », *The Economist*, 7 juin 2014.

⁵⁹ « Debris Cloud Gathers Over Cubesat Party », *Space News*, 13 octobre 2014.

⁶⁰ Ram Jakhu, Joseph Pelton, *Small Satellites and Their Regulation*, New York, Springer, 2014, p. 63-64.

⁶¹ James Clay Moltz, *The Politics of Space Security*, Stanford, Stanford University Press, 2011, p. 297-301.

⁶² « North Korean rocket puts object into space, angers neighbors, U.S. », *Space News*, 8 février 2016.

prouesse est aussitôt exaltée par le dirigeant Kim Jong-un, qui souhaite orienter son « programme spatial » « vers des objectifs plus élevés et lancer ainsi plus de satellites »⁶³. Couverture de tests balistiques agressifs selon les experts, ce tir n'en exprime pas moins la montée en compétence d'une agence spatiale en dehors des clous. Les précédents essais ont certes été des échecs. Le satellite d'observation de la Terre *Kwangmyongsong-3*, par exemple, n'a pas été déployé de façon nominale et poursuit sa course à 500 kilomètres d'altitude⁶⁴. Il n'est pas dit non plus que le satellite finalement mis en orbite soit fonctionnel. Mais les capacités de lancement et de contrôle des systèmes en vol nord-coréens augmentent et se perfectionnent. Jusqu'à d'éventuels tirs anti-satellite ou l'usage d'armes balistiques « sales » dans l'espace ? Les projections les plus crépusculaires semblent trouver un début de réalité : l'espace extra-atmosphérique proche, vaste champ de ruines, à la suite d'une explosion nucléaire⁶⁵.

Envoi

En 1998, Nicholas Johnson, alors *chief scientist* à la NASA en charge du problème des débris, n'avait pas de mots assez forts pour alerter ses collègues et les pouvoirs publics : « Alors que les générations futures sont peut-être en mesure de réparer (*undo*) les pratiques à courte vue du passé, nous devons nous efforcer pour l'instant de prévenir la croissance incontrôlée de la population satellitaire – sinon préparons-nous à un manque de place dans l'espace. »⁶⁶ Près de 20 ans plus tard, la connaissance s'est enrichie et des perfectionnements ont été apportés à la technologie, de telle sorte que l'espace ne devienne pas la décharge que certains observateurs redoutaient au lendemain des tests balistiques chinois. En revanche, les discussions et les négociations échouent à stabiliser un cadre légal véritablement contraignant pour tous les acteurs⁶⁷.

Ainsi les gloses peuvent-elles se déployer encore sur, d'une part, l'« éthique de l'espace »⁶⁸ que l'humanité dans son ensemble gagnerait à méditer ou, d'autre part, la « gouvernance » du problème des débris, telle que l'Union européenne essaie de l'initier par la voie diplomatique – et avec quelques hésitations – sur une base volontaire et de confiance, *via* un « code de conduite » international sur les activités spatiales⁶⁹. La rédaction et la mise en œuvre d'un traité réglementant de façon complète l'ensemble du trafic spa-

⁶³ « La Corée du Nord veut lancer de nouveaux satellites », *Le Monde*, 15 février 2016.

⁶⁴ Le satellite d'observation de la Terre *Kwangmyongsong-3*, par exemple, n'a pas été déployé de façon nominale et poursuit sa course en « culbutant sur lui-même en orbite », à 500 kilomètres d'altitude. Stefan Barenky, « Le satellite nord-coréen ne répond plus », *Air et Cosmos*, 13 décembre 2012.

⁶⁵ Alain Dupas, *La nouvelle conquête spatiale*, Paris, Odile Jacob, 2010, p. 88.

⁶⁶ Nicholas Johnson, « Monitoring and Controlling Debris in Space », *Scientific American*, vol. 279, août 1998, p. 67 [62-67].

⁶⁷ Joseph N. Pelton, *New Solutions for the Space Debris Problem*, New York, Springer, 2015.

⁶⁸ Jacques Arnould, *Icarus' second chance: the basis and perspectives of space ethics*, New York, Springer, 2011 ; Kazuto Suzuki, « The role of international organisations for the fair and responsible use of space », in Wolfgang Rathgeber, Kai-Uwe Schrogl, Ray A. Williamson (eds.), *The Fair and Responsible Use of Space: An International Perspective*, New York, Springer, 2010, p. 154-164.

⁶⁹ Guilhem Penent, *L'Europe spatiale. Le déclin ou le sursaut*, Paris, Argos, 2014, p. 145-148.

tial – à l’instar du trafic aérien – est un serpent de mer⁷⁰. Ce qui ne veut pas dire que rien ne pointe à l’horizon, mais encore les acteurs de l’aéronautique sont-ils tenus de résoudre le problème, faute de quoi – selon les projections les plus pessimistes – la conduite des activités spatiales risque de devenir impossible.

⁷⁰ James Clay Moltz, *Crowded Orbits: Conflict and Cooperation in Space*, New York, Columbia University Press, 2014, p. 114-116.