

7 February 2022
Original: English/French

**Committee on the Peaceful
Uses of Outer Space
Scientific and Technical Subcommittee
Fifty-ninth session
Vienna, 7-18 February 2022
Item 13 of the provisional agenda¹
Long-term sustainability of outer space activities**

**General presentation of French activities and views
concerning the long-term sustainability of outer space
activities, in relation with the implementation of the 21
Guidelines (A/74/20, Annex II)**

The present conference room paper was prepared by the Secretariat on the basis of information received from France. The information was reproduced in the form it was received.

¹ A/AC.105/C.1/L.392



General presentation of French activities and views concerning the long-term sustainability of outer space activities, in relation with the implementation of the 21 Guidelines (A/74/20, Annex II)

Submission by France

[Courtesy English translation by the French delegation]

1. France is pleased to present its activities and views concerning the long-term sustainability of outer space activities, in relation with the implementation of the 21 Guidelines adopted by the Committee on the Peaceful Uses of Outer Space (COPUOS) at its 62nd session (A/74/20, Annex II) and endorsed by the United Nations General Assembly in October 2019. As noted by the Committee, these Guidelines are to be considered for implementation by States and international intergovernmental organizations on a voluntary basis (A/74/20, Annex II, para. 16).
2. France has always placed particular emphasis on long-term sustainability and has played an active role in the Working Group on the Long-term Sustainability of Outer Space Activities (LTS). In particular, France points out that the idea of creating a Working Group of this type was first put forward by Gérard Brachet in 2008 in his capacity as Chairman of COPUOS. The need to strengthen long-term sustainability, safety and security in space is shared by all nations. It is in the collective interest of all peaceful space-faring or space-using nations to encourage the responsible use of space and minimize orbital debris, in order to protect any in-orbit maneuvering spacecraft from a risk of collision and to preserve the space environment. France believes that the 21 consensual Guidelines and the corresponding Preamble are a major achievement for the Committee on the Peaceful Uses of Outer Space.
3. The Guidelines adopted set out a number of coherent recommendations whose voluntary implementation is essential for the long-term sustainability of outer space. To this end, France supports timely implementation of the Guidelines in order to increase the long-term sustainability of space activities.
4. France is pleased to note the establishment of the follow-on working group (LTS 2.0) and welcomes the election of Mr. Umamaheswaran of India as chair of the LTS 2.0 working group. France believes that sharing and reviewing best practices on the practical implementation of LTS guidelines by space-faring nations will enhance communication, international cooperation, and capacity building, as well as preserving the outer space environment for future generations. Efforts to further implementation of the 21 adopted LTS guidelines, and to build capacity in this respect, should therefore serve as the foundations for the new LTS 2.0 Working Group, set up under the direction of the Scientific and Technical Subcommittee.
5. Reflecting the above, France would like to make a presentation pertaining to the implementation of the 21 guidelines and to the long-term sustainability of outer space activities in France.
6. The French Space Agency, CNES, was founded in 1961 and is a key actor in outer space sustainability and in the implementation of voluntary guidelines. CNES is the government agency responsible for developing, proposing and implementing France's space policy. Through its innovative capacities and forward-looking vision, CNES helps to foster new technologies that will benefit society as a whole, focusing on 5 main topics: access to space (with Ariane), telecommunications, observation, science, security and defense. Responding to the rapid development of the digital economy, CNES supports the development of economic, societal and environmental solutions by the New Space industry, start-ups and entrepreneurs, delivering benefits for other sectors of the economy.

A. Policy and the regulatory framework for space activities

Guideline A.1 - Adopt, revise and amend, as necessary, national regulatory frameworks for outer space activities

7. France has adopted four main Acts to support sustainable development on Earth and in relation to space activities: the Climate and Resilience Act, the Energy Transition for Green Growth Act (LTECV), the Biodiversity Act and the French Space Operations Act. In order to protect the environment and to mitigate climate change, France implements policies addressing the impact of space missions and the corresponding technical resources.
8. The French Space Operations Act of June 3, 2008, supplemented by several decrees and a Technical Regulation, establishes the legal framework for space activities in France.
9. In 2019, the French Ministry of the Armed Forces adopted a new Space Defense Strategy. This strategy, which was followed by the creation of a dedicated French space command (CDE), has a threefold objective: to guarantee the peaceful and responsible use of space, to adapt to the opportunities and risks associated with routine access to space (“New Space”), and to respond to the increased strategic competition between space actors.

Guideline A.2 - Consider a number of elements when developing, revising or amending, as necessary, national regulatory frameworks for outer space activities

10. In France, the authorization to perform space operations (launch or in-orbit control) is given by the Ministry in charge of Space only after an assessment of compliance with the Technical Regulation. The detailed analysis of compliance with the Technical Regulation is performed by CNES on behalf of the Ministry.
11. This Technical Regulation requires all space operations to:
 - a. limit the number of fragments and carry out end-of-life operations respecting protected areas,
 - b. limit the risks to persons and property on the ground during the launch and re-entry of space objects,
 - c. limit the risks to public health and the environment arising from objects returning to Earth,
 - d. be compliant with applicable nuclear safety requirements as part of a specific plan, if radioactive materials are used.
12. The French Space Operations Act requires operators to carry out an environmental impact assessment and a hazard study for all space operations, and to implement a plan to manage risk and to ensure the safety of persons, property, public health and the environment.
13. The authorization process and the assessment of compliance with technical regulation provides assurance that operators have the means, resources, skills and the organization necessary to perform the operation in compliance with the Space Act. It also allows the competent authorities to check ongoing compliance throughout the operational life of the space object through to disposal, based on the processing of technical and organizational events.
14. This regulation is updated as and when necessary. In this respect, a first amended version was adopted in 2017 to take account of the lessons learnt from 6 years of implementing the Space Act, as well as from changes in the outer space environment. A second revision of the Technical Regulation began in 2021 and will continue throughout 2022, based on consultation with the industrial ecosystem and taking account of New Space operations, such as in-orbit servicing and large constellations, as well as implementation of LTS guidelines, such as the need to carry out conjunction assessments.
15. The French Act included a 10-year transition period to 2020, during which some of the requirements set out in the Technical Regulation were not applicable. This gave operators time to implement measures that would subsequently allow full compliance with the regulation. Today the French Act is applicable in full.
16. It should also be noted that CNES set up the “Collective for Space Care”. Operating on a voluntary basis, this entity brings together space operators and partners who recognize their responsibility to comply with

international treaties, principles pertaining to space matters, applicable space legislation and the corresponding best practices.

Guideline A.3 - Supervise national space activities

17. The French Space Operations Act sets up a process for the authorization and continuous supervision of the space activities of French operators, in accordance with international treaties, and particularly the Treaty on Principles Governing the Activities of States in the Exploration and Use of Outer Space (dated January 27, 1967), and the Convention on International Liability for Damage caused by Space Objects (dated March 29, 1972). This process allows France to manage its liability in connection with its space activities, in accordance with the international treaties above.
18. The French Space Operations Act regulates the authorization and supervision of all the space operations performed by French operators, taking account of the long-term development of space activities. In particular, the development of the Technical Regulation gave due consideration to the Space Debris Mitigation Guidelines adopted by the COPUOS and endorsed by the UNGA (A/RES/62/217), the recommended practices and voluntary guidelines put forward by the Inter-Agency Space Debris Coordination Committee (IADC), and the Committee on Space Research (COSPAR) as well as existing international technical standards, including those published by the International Organization for Standardization (ISO) and the Consultative Committee for Space Data Systems (CCSDS), generally accepted by the international space community for the safe conduct of outer space activities.

Guideline A.4 - Ensure the equitable, rational and efficient use of the radio frequency spectrum and the various orbital regions used by satellites

19. The International Telecommunication Union (ITU) is the United Nations specialized agency for information and communication technologies or ICTs. The purposes of the Union are to maintain and extend international cooperation among all Member States for the improvement and rational use of telecommunications of all kinds, to promote the development of technical facilities and their most efficient operation with a view to improving the efficiency of telecommunication services, increasing their usefulness and making them generally available to the public, as far as possible.
20. The ITU Radiocommunication Sector (ITU-R) plays a vital role in the global management of the radio-frequency spectrum and satellite orbits. These are limited natural resources which are increasingly in demand from a large and growing number of services such as fixed, mobile, broadcasting, amateur, space research, emergency telecommunications, meteorology, global positioning systems, environmental monitoring and communication services. The primary objective of the ITU-R is to ensure interference-free operations of radiocommunication systems, through implementation of the Radio Regulations and Regional Agreements, and the efficient and timely update of these instruments. The World and Regional Radio-communication Conferences develop and update international regulations on the use of the radio-frequency spectrum and satellite orbits.
21. ANFR (*Agence Nationale des Fréquences* or National Frequency Agency) is the governmental body representing France in international meetings (ITU-R and CEPT for Europe). In particular, it coordinates the agenda of the WRC (World Radiocommunication Conference), and prepares, coordinates and upholds French positions in international forums. In France, CNES is responsible for the frequencies used by scientific satellites (Earth Observation, Space Operations, Space Exploration, satellite radio-determination). CNES regularly submits items for the WRC agenda and, for this reason, is often European coordinator of the agenda. In addition, CNES acts as the chair or vice chair of ITU-R Study Group 7 (Science Services such as space operations, space research, Earth exploration and meteorology, inter-satellite services, systems for remote sensing, including passive and active sensing systems, operating on both ground-based and space-based platforms, radio astronomy, dissemination, reception and coordination of standard-frequency and time-signal services, including the application of satellite techniques, on a worldwide basis). In addition, CNES is also involved with the ITU-D (Development Sector of ITU) and has held responsibility in the past for all questions relating to ICT and climate change.

Guideline A.5 - Enhance the practice of registering space objects

22. France signed the Convention on Registration of Objects Launched into Outer Space on December 17, 1975, and transposed this requirement into national law on June 3, 2008. The law sets out the terms applicable to the registration of space objects and the information necessary to identify them. The National Register is handled by CNES, which reports every year to the French Ministry for European and Foreign Affairs as well as to UNOOSA, providing, where applicable, the necessary notifications in the event of changes to the national ownership of space objects.

B. Safety of space operations

Guideline B.1 - Provide updated contact information and share information on space objects and orbital events

23. The CNES Space Situational Awareness (SSA) Center, managed by the CNES Space Situational Awareness Office, is responsible for providing SSA services for the safety, security and sustainability of space operations. For this purpose, the CNES SSA Centre provides a collision avoidance service called CAESAR (Conjunction Analysis and Evaluation Service: Alert and Recommendation). For this mission, the CNES SSA Centre interfaces with European and international partners, and makes use of existing platforms (e.g. <http://www.space-track.org>) to widely communicate its contact details if any third-party satellite is at risk of collision with one of the satellites monitored by the CAESAR service.
24. The CAESAR collision avoidance service, provided by the CNES SSA Center, is currently protecting more than 240 satellites against the risk of collision. These satellites, in LEO to GEO, are monitored 24/7 365 days a year in order to take appropriate actions when the risk of collision exceeds the security thresholds established with the satellite owner or operator.
25. The CNES SSA Center builds and maintains an orbital catalogue covering LEO to GEO through the fusion of data from national SST sensors, commercial data providers and European partners. To do this, it relies on the EU SST program, allowing the daily sharing of almost 1 million measurements from around 50 sensors (radar, telescopes, lasers) around the world. This catalogue is then used to mitigate the risk of collision between the satellites protected by the CAESAR collision avoidance service and the catalogued population, as well as for analysis, forward planning and communication with national authorities on re-entering objects that pose a threat to the on-ground population (e.g. probability of on-ground casualties) or to the environment (e.g. objects with dangerous materials on board).
26. The CNES SSA Center operates a network of electro-optical telescopes (TAROT Network), owned by the CNRS (*Centre National de Recherche Scientifique* or French National Centre for Scientific Research), which are used to observe the orbital population as well as to support spacecraft operators in the event of in-orbit anomalies. The TAROT Network and its OSMOSE data processing chain (developed and owned by CNES for the SSA mission), enable the detection and characterization of in-orbit fragmentation, making it possible to ascertain the causes and improve the orbital catalog in order to mitigate the consequences for other operational spacecraft.

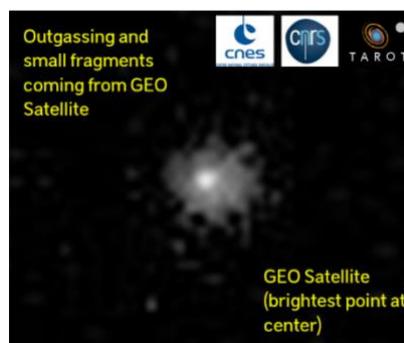


Figure 1. GEO fragmentation observed by the TAROT Network, operated by CNES for the SSA mission

27. The CAESAR collision avoidance service, which currently monitors and protects 240 satellites from the risk of collision, in LEO to GEO, is able to generate collision data messages (CDMs) using the CNES SSA Center orbital catalog. In addition, information shared as part of bilateral agreements with the USA (18th

Space Squadron) and with owner operators, is used to enrich the in-house CDMs with external CDMs as well as with orbital information directly from operators (e.g. maneuver plans). This information is used to assess the risk of collision involving the monitored satellites as well as to give the spacecraft owner operator a clear view of the options for mitigating risky conjunctions.

Guideline B.2 - Improve accuracy of orbital data on space objects and enhance the practice and utility of sharing orbital information on space objects

28. The CNES Space Situational Awareness Office has an ambitious research and development (R&D) plan, built up over many years. This plan enables the development of new techniques aiming at improving the safety and security of space operations, by enhancing the accuracy and precision of orbital data. To this end, it is developing new observational technologies in collaboration with European industry: passive radio frequency detectors from GEO to LEO to better characterize maneuvering satellites (SAFRAN), electro-optical telescopes to observe and survey the LEO region alongside radar systems (Ariane Group and Share My Space), space-based space surveillance missions to fill the gap in ground SSA systems (Thales Alenia Space and Airbus Defense and Space) and of lasers and electro-optical telescopes to observe space objects in daylight as well as by night (Ariane Group).

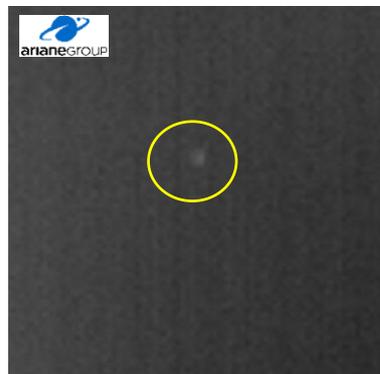


Figure 2. Daylight infra-red observation demonstration by Ariane Group Telescopes developed as part of a CNES R&D activity

29. This R&D plan also provides a basis for the development of new data processing methods and algorithms to improve the safety and security of space operations, through the fusion of available orbital data as well as through better representation of orbital uncertainty. Some of the studies undertaken made it possible to effectively fuse radar, optical, laser and passive RF measurements in order to maximize the accuracy and precision of orbital solutions, and improve our capability to track and maintain maneuverable objects in the catalog as well as to improve orbital uncertainty realism, which is of key importance in computing meaningful collision probabilities and providing an efficient collision avoidance service.

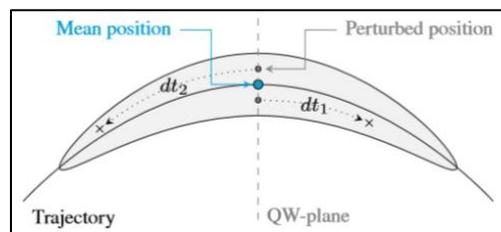


Figure 3. Development of alternative reference frames to improve orbital uncertainty realism (Laurens S. et al. *Towards the maintenance of Gaussianity on state vector uncertainty representation*. 69th IAC, 2018)

30. Every day, the CNES Space Situational Awareness Center fuses the data from dozens of sensors, operated nationally or through regional and international cooperation, in order to build an orbital catalog of the highest precision and accuracy.

31. In recent years, the CNES Space Situational Awareness Office has developed the capability to assess the performance of a given space surveillance and tracking network in terms of detection, cataloging and

service provision (BAS3E¹). This capability is then applied nationally and internationally in order to assess the performance of an existing system and analyze the upgrades to be implemented at sensor, data processing and service level in order to improve the overall performance of the system and obtain the highest increase in performance for each of the selected network upgrades..

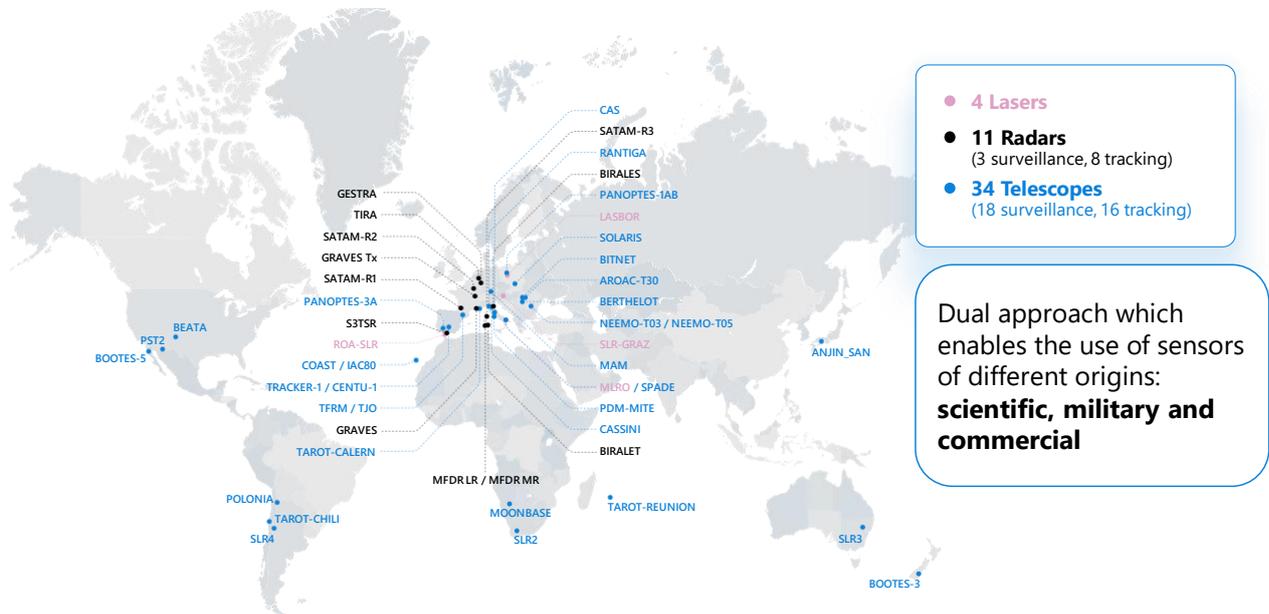


Figure 4. EU SST operational sensor network in 2021, with performance analyzed by CNES, and upgrades selected to achieve the best value for money

32. As leader of the expert team System Evolution for EU SST, the CNES Space Situational Awareness Office is coordinating an ambitious R&D plan currently involving seven European member states, represented by their national designated entities². The aim is to improve the accuracy and performance of orbital solutions through international collaboration.
33. France is an active member of ISO (International Standardization Organization), the ECSS (European Cooperation of Space Standardization) and the CCSDS (Consultative Committee for Space Data Systems), which carry out important work to develop shared standards and norms for the sharing of data and information, as well as to improve the inter-operability of SSA systems and shape operational and computational best practices based on mutual agreement, in order to improve the safety, security and sustainability of space operations.

Guideline B.3 - Promote the collection, sharing and dissemination of space debris monitoring information

34. France has developed a rich ecosystem of governmental entities (military and non-military) and private actors with the capability to detect, measure and catalog the orbital population using different technologies. These technologies cover passive radio frequency sensors (SAFRAN), laser sensors (CNRS and Ariane Group), optical sensors able to observe LEO to GEO by day or night (CNRS, Ariane Group, Share My Space), radar sensors (ONERA, Thales) as well as adaptive optics to observe the orbital population in a resolute manner (ONERA and CNRS).

¹ Banc d'Analyse et de Simulation d'un Système de Surveillance de l'Espace

² France (CNES), Germany (DLR Agency), Italy (ASI), Poland (POLSA), Portugal (PT MoD), Romania (ROSA) and Spain (CDTI)

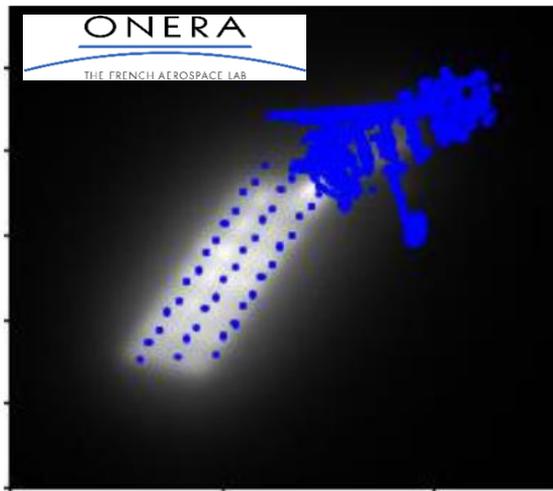


Figure 5. Observation of Envisat using adaptive optics. A mask is applied to the image to estimate the changing attitude of the object.

35. Together with the Ministry of the Armed Forces, CNES is a member of the European Union Space Surveillance and Tracking program alongside six other European Member States. This cooperation, and its service provision model provide the basis for the operation of almost fifty sensors, making it possible to share almost one million measurements per day among EU SST partners. Using these measurements, the CNES SSA Center builds and maintains an orbital catalog covering the range from Low Earth Orbit (LEO) to Geostationary Orbit (GEO).

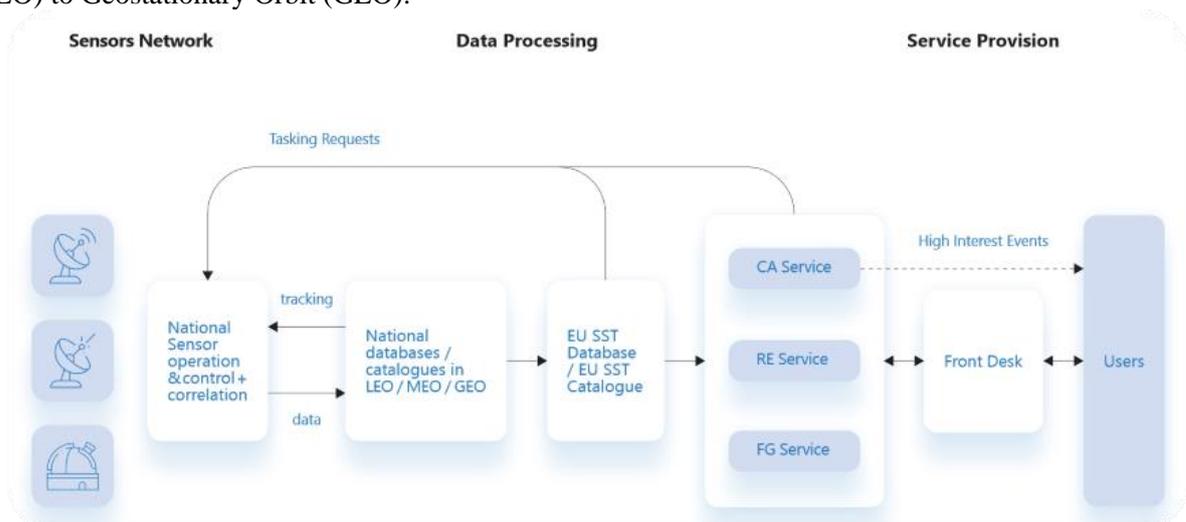


Figure 6. EU SST service provision model, on which national sensors feeds a common shared European database

36. CNES has developed an in-situ detector to detect and characterize sub-centimetric orbital debris. The knowledge acquired will be used to improve modeling of the non-trackable part of the space debris population. This is of key importance in assessing the damage posed to satellites by the non-trackable population and therefore in developing passive technologies that can protect them.
37. As a member of the IADC (Inter-Agency Space Debris Coordination Committee), CNES participates actively in modeling activities to establish how the orbital population is likely to evolve over the coming decades and centuries. These activities allow a comparison between the French space debris evolutionary models, MEDEE (Modelling the Evolution of Debris on the Earth Environment) and the models of the other IADC members, while also making it possible to share and develop best practices in terms of computational methods and hypotheses in assessing how the orbital debris population is likely to evolve in the future.

Guideline B.4 - Perform conjunction assessment during all orbital phases of controlled flight

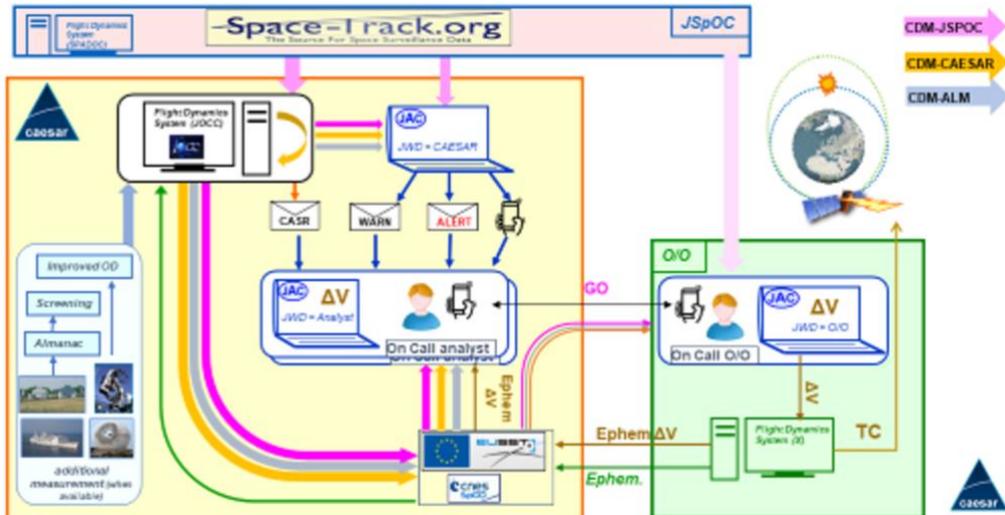


Figure 7. Diagram showing the operation of France’s CAESAR service, protecting more than 240 satellites from the risk of collision, from injection to end of life

38. The CAESAR collision avoidance service acts as a middle man, centralizing information from several sources (e.g. the 18th Space Squadron, national catalogs, owner/operators) in order to evaluate the risk of collision with the monitored spacecraft. By centralizing all the information available, the CAESAR collision avoidance service is able to take into account current and planned maneuvers as part of the risk analysis process, and thus to work in close cooperation with the satellite owner operator to optimize the maneuver plan (e.g. adaptation of station keeping maneuvers, dedicated collision avoidance maneuvers) and to reduce the collision risk to acceptable levels (e.g. 10⁻⁴).
39. The CAESAR collision avoidance service works in close connection with sensor data providers, sending out tasking requests in the event of a collision risk for which the probability exceeds the acceptable threshold defined by the owner operator. These tasking requests will be used to refine the orbit of the objects involved in the conjunction (particularly if one of them is a non-maneuverable object), in order to better assess the collision risk.



Figure 8. List of satellites protected against the risk of collision by the EU SST collision avoidance service (February 2022)

40. The CAESAR collision avoidance service makes use of platforms sharing the contact details of owner operators (e.g. <http://www.space-track.org>) in order to assist the coordination of two operators of maneuverable objects in cases where the probability of the risk of collision exceeds the acceptable threshold.
41. The CNES SSA Office deployed the CAESAR service in 2016 as part of the collision avoidance service of EU SST. The EU SST collision avoidance service is provided in hot redundancy by operating centers in France and Spain and is free of charge for European owners and operators. The service is provided 24/7 365 days a year. Asset out in the EU Space Program for 2021 - 2027, agreed by the European Council and Parliament and formally adopted in April 2021, the EU SST collision avoidance service could be made available to owners and operators outside the European Union in the near future.
42. As part of the EU SST collision avoidance service, the French and Spanish operational services in charge of providing this service are working towards better harmonization by sharing computational approaches and best practices in order to assess the risk of collisions.
43. Every two years, the CNES Space Situational Awareness Office organizes an international workshop dedicated to collision avoidance. Bringing together experts and operators from all over the world, the workshop is an opportunity for service providers and owner operators to share best practices, operational approaches and experience.
44. The CNES Space Situational Awareness Office provides a training course on Conjunction Assessment (CA) Risk Analysis (<https://amostech.com/short-courses/>) in collaboration with NASA CARA, as part of the AMOS Space Surveillance Conference. This course, which is well attended by experienced professionals and operators, provides a three-part overview of conjunction assessment. The first part is an extended section on background theory including all the theoretical components necessary to perform conjunction analysis and the associated risk assessment. The second part of the course looks at modern conjunction risk assessment practices. The third and final section addresses emerging technical and policy challenges for conjunction assessment activities.

Guideline B.5 - Develop practical approaches for pre-launch conjunction assessment

45. According to the Technical Regulation of the French Space Act, a pre-launch conjunction assessment must be conducted for all launches on French territory in order to avoid any manned vehicles (for example the ISS space station or Tianhe). The objective is to protect humans in orbit until launch objects can be catalogued and integrated in the standard process of in-orbit tracking for collision avoidance.
46. To assess the probability of collision between each object launched and each manned object in space (such as the ISS) during the ascent and re-entry phases, CNES has developed a specific tool named the ARCL (Collisions Risk Assessment at Launch). The risk assessment is computed during the launch campaign and continues for three days after orbit injection for each object launched. The extra three days ensure that the assessment covers the period until objects can be catalogued. This tool is now fully operational and has been used since 2010. For each launch from Kourou in French Guiana, a specific computation process is carried out to establish which launch windows should be used by the launcher in order to avoid collision.
47. In more than ten years of use, ARCL has computed several risks on Ariane 5 missions, leading to some slot closures in the launch window. Ultimately, however, the operational impact is limited to just a few seconds in the launch window, which is usually around one hour. No flight postponements have ever been necessary. So ARCL has contributed to increasing the safety of human activity in space with minimum operational perturbations on launchers from Kourou.
48. The Hague Code of Conduct against Ballistic Missile Proliferation (HCoC) is a multilateral instrument for transparency and confidence building concerning the spread of ballistic missiles. By subscribing to the HCoC, members make a voluntary political commitment to provide pre-launch notifications for ballistic missiles and space-launch vehicles, as well as for test flights. Subscribing States also commit themselves to submitting an annual declaration setting out their country's policies on ballistic missiles and space-launch vehicles.

49. On December 18, 2017, the European Council reaffirmed its support for HCoC as part of the implementation of the EU strategy against the proliferation of weapons of mass destruction (WMD) in Decision 2017/2370/CFSP, renewed in November 2021 by Decision 2021/2074/CFSP, and implemented by the *Fondation pour la Recherche Stratégique* (FRS), a Paris-based think tank. More broadly, all countries and populations can benefit from the enhancement and implementation of the transparency and confidence-building measures set out in the Code. A French-Dutch initiative to celebrate the 20th Anniversary of the Code in 2022 will seek to highlight the importance of the Code in the architecture of non-proliferation, bringing in more non-subscribing States and paving the way for its reinforcement.
50. The overarching aim of these research activities is to raise awareness of the threat posed by the proliferation of ballistic missiles, to increase the effectiveness of multilateral instruments against proliferation, and to help interested countries reinforce their national export control regimes and improve exchanges of relevant information. Specifically, these actions seek to raise the awareness of the officials concerned with respect to the content of the Code and the requirements associated with subscription, such as providing pre-launch notifications for ballistic missiles and space-launch vehicles. This includes presenting the requirements to be followed by subscribing States, along with the procedure for subscribing to the Code, an explanation of day-to-day operation and the different ways of incorporating subscription to the Code into a national non-proliferation strategy. The actions also aim to encourage a debate around the instrument and how it could be improved in order to reduce the threat posed by missiles.

Guideline B.6 - Share operational space weather data and forecasts & Guideline B.7 - Develop space weather models and tools and collect established practices on the mitigation of space weather effects

51. A national group of space weather organizations (GCME³) has been set up in France under the coordination of CNES, with the participation of more than 30 experts from a number of institutes and governmental agencies including the CEA⁴, CNES⁵, CNRS⁶, CLS⁷, DGAC⁸, DSNA⁹, ESSP¹⁰, Météo-France, Ministry for the Armed Forces (CDE¹¹, DGA¹²), Ministry of Higher Education and Research, Paris Observatory (LESIA¹³), ONERA¹⁴, University of Strasbourg and the Air and Space Academy. The purpose of this group is to coordinate actions at the national, European and international levels, providing an assessment of impacts on 4 domains – defense, space, civil aviation, terrestrial technological infrastructure – and promoting the sharing of information on space weather events (post-event analysis). In addition, the scientific community in France is organized as part of the OFRAME¹⁵ cooperation framework, which reports regularly to the GCME.
52. At national level:
- (a) The Ministry for the Armed Forces is developing a pre-operational system for collecting and analyzing space weather data for the armed forces. It also represents France in NATO working groups dedicated to the definition of space weather data standards for operational purposes.
 - (b) With the support of CNES, ONERA has developed extensive expertise over the past 20 years in the domain of space radiation through advanced space weather applications such as real-time nowcasting of the Earth's trapped particle environment, based on data assimilation techniques, with optimal combinations of physics-based models and in-situ measurements. Provided by CNES and ESA radiation monitoring systems as well as through international cooperation between CNES and/or

³ Groupe de Coordination nationale en Météorologie de l'Espace

⁴ Commissariat à l'Energie Atomique et aux énergies alternatives

⁵ Centre National d'Etudes Spatiales

⁶ Centre National de la Recherche Scientifique

⁷ Collecte Localisation Satellites

⁸ Direction Générale de l'Aviation Civile

⁹ Direction des Services de la Navigation Aérienne

¹⁰ European Satellite Services Provider

¹¹ Commandement de l'Espace

¹² Direction Générale de l'Armement

¹³ Laboratoire d'Etudes Spatiales et d'Instrumentation en Astrophysique

¹⁴ Office National d'Etudes et de Recherches Aérospatiales

¹⁵ Organisation française pour la recherche appliquée en météorologie de l'espace

ONERA and other entities, such as NOAA, NASA or JAXA, these in-situ measurements form the most complete database of radiation data at the international level. The final products are provided to the space industry, for the satellite design activity and for spacecraft operators. Prototypes of space weather services are currently being developed as part of the ESA space safety program and the EU Horizon 2020 R&D program. In addition, ONERA has also developed prediction models for the impact of space weather on ionospheric radiowave propagation, and consequently on the performance of GNSS and communications systems for CNES, ESA and the Ministry of the Armed Forces.

- (c) The French company CLS¹⁶ has been active in the domain of space weather for 20 years. Through its R&D activities with the Paris Observatory and ONERA, CLS is able to provide Arianespace with a forecast before launches that may be exposed to high energetic particles. CLS also operates a radiation model from the Paris Observatory for the ICAO space weather service. In terms of solar indices, CLS provides a daily forecast covering up to 30 days of the F30 index (radio solar flux at 30 cm) measured by the Nobeyama radio-telescope, using neural network techniques. This service was made possible with the support of CNES and the LPC2E. Finally, CLS has gained expertise in ionospheric scintillations nowcasting and forecasting using GNSS data. The company operationally delivers scintillation maps for the ICAO service.
 - (d) The Paris Observatory cooperates with the Institute for Radioprotection and Nuclear Safety (IRSN) in monitoring the radiation doses received by French civil aircrews, as well as providing operational support for the ICAO real-time space weather service. The Paris Observatory also provides near real-time observations of the Sun in visible light and at radio wavelengths (Nançay station), with a dedicated delivery to the FEDOME service of the French Air Force.
 - (e) IRAP operates a service providing solar monitoring at optical wavelengths (CLIMSO) using instrumentation at the Pic du Midi Observatory, with the support of a citizen-science project and a private company.
 - (f) The French research community is developing a broad range of space-weather assets available through the OFRAME website (<http://meteo-espace.irap.omp.eu/>). OFRAME continuously collates and delivers data relating to monitoring of the radiation belts (CRATERRE), the radiation environment in the atmosphere (CERCLE), geomagnetic activity (ISGI) and forecasts relating to both the solar wind at Earth and how Earth's environment is magnetically connected to the Sun (STORMS).
 - (g) The ESSP¹⁷ provides space weather services in addition to operating the EGNOS system as its core activity. The ESSP has led the GNSS service for the ICAO space weather service since 2019. The ESSP is also a member of the international consortium TechTIDE, which was set up to study Traveling Ionospheric Disturbances (TID) and their possible impact on aviation services, and the EGNOS system.
53. At the European level, France (as a participating Member State since 2008) supports the development of a pre-operational European space weather system with the associated services as part of the space weather component of the ESA space safety program. These services include involving the French research community in the development of ESA's European Space Weather Modeling Center (VSWMC, <https://esa-vswwmc.eu/>) and space-weather service network (<https://swe.ssa.esa.int/>) by providing access to their models of the Sun-Earth system in a virtual environment. France also supports a future handover of an operational system delivering space weather services for European Union users.
54. At the international level, France recommends better defining and characterizing extreme space weather events and their probability of occurrence, and assessing their impacts on technological systems, with a focus on spacecraft and aircraft. This work should be carried out at the international level.
55. Under the aegis of the International Civil Aviation Organization (ICAO), and as a member of the ACFJ consortium, along with Australia, Canada and Japan, France is one of the official provider States of space

¹⁶ Collecte Localisation Satellites

¹⁷ European Satellite Services Provider

weather services to international aviation. France provides its services through the SPECTRA consortium of three companies, CLS, ESSP and Météo-France, under the oversight of the French Civil Aviation Authority. The services provided are currently in the form of space weather advisories, disseminated globally to aviation stakeholders through aviation channels, and not available to the public.

56. Several relevant space weather data sets provided by French institutions are made available to the public:
- (a) Space-based measurements of the Sun, interplanetary space and the magnetosphere (IRAP, LPC2E, LESIA, LPP) - <http://www.cdpp.eu>
 - (b) Space-based monitoring of the solar atmosphere (IAS) - MEDOC <https://idoc.ias.u-psud.fr/MEDOC>
 - (c) Solar monitoring from the ground at optical wavelengths (Paris Observatory, Nice Observatory, IRAP and the Pic du Midi Observatory) and radio wavelengths (Nançay radio astronomy station of the Paris Observatory) - <http://bass2000.obsm.fr/>, <https://rsdb.obs-nancay.fr/>, <http://secchirh.obspm.fr/index.php>, <https://climso.fr/accueil>
 - (d) Solar and galactic cosmic ray monitoring with neutron monitors (Paris Observatory with IPEV) - www.nmdb.eu
 - (e) Monitoring of the Earth's upper atmosphere through the Dual Auroral Radar Network - <http://vt.superdarn.org> - from the Kerguelen Observatory (IRAP)
 - (f) Real time and archived TID database - <http://www.tech-tide.eu> – from TechTIDE

Guideline B.8 - Design and operation of space objects regardless of their physical and operational characteristics

57. The French Microscope space mission integrated a debris mitigation system as a design driver from the beginning. As a result, the satellite design complied with the regulation without penalizing scientific performance or excessively downgrading the cost and schedule. The passive deorbiting system dedicated to Microscope is called IDEAS (Innovative DEorbiting Aerobrake System). It consisted in two identical wings that were inflated at the end of the mission. With this system, the duration of the satellite in space was reduced by more than 34 years, making it an important contribution to space sustainability.

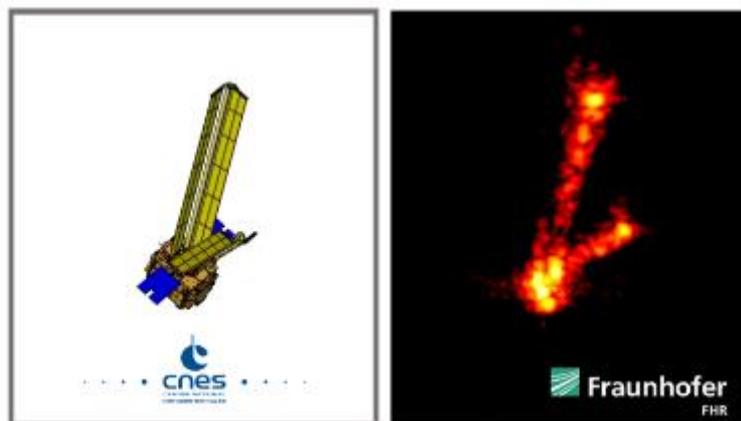


Figure 9. Microscope image (by TIRA) after deployment of the deorbiting aerobrake system (IDEAS)

Guideline B.9 - Take measures to address risks associated with the uncontrolled re-entry of space objects

58. The CNES Space Situational Awareness Office has put in place a bilateral cooperation and data sharing agreement making it possible to share data and information concerning the re-entry of objects representing a risk to people on the ground or to the environment. To this end, the CNES SSA Center, in close cooperation with the French Air and Space Force, are sharing observational data on re-entering objects with international partners and computing the re-entry window of re-entering objects.

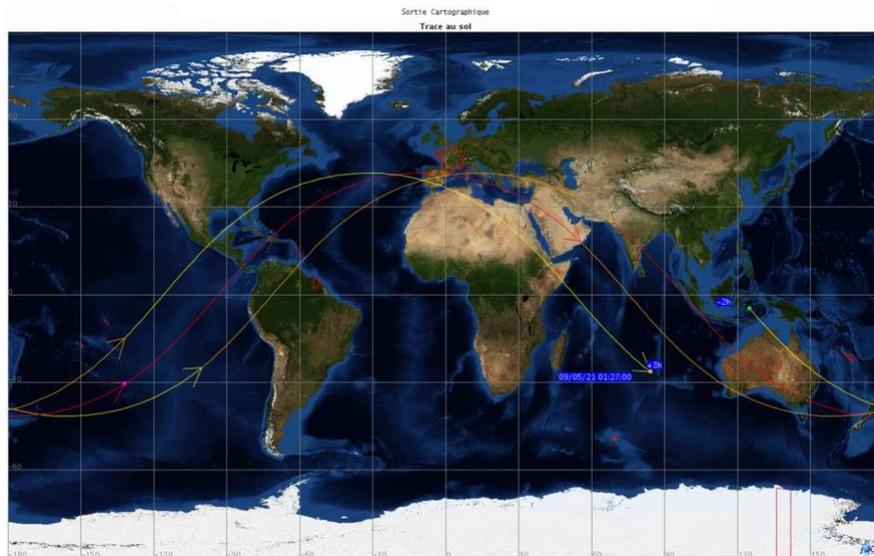


Figure 10. Example of a predicted re-entry window of CZ-5B R/B (COSPAR ID 2021-035B), an object with an estimated mass of 20 tons, based on French and US observational data, gathered through bilateral data sharing agreements

59. As a member of the IADC (Inter Agency Space Debris Coordination Committee), France takes part every year in the IADC re-entry exercise, the objective of which is to share best practices and to identify common areas of improvement in estimating the re-entry window of uncontrolled objects.
60. The CNES Space Situational Awareness Office and the French Military Space Operation Center monitor the re-entry of space objects that may pose a threat to the ground or to the environment, using two time horizons. The first time horizon, referred to as the middle-term re-entry prediction, seeks to predict 60 days in advance the objects that are likely going to re-enter the Earth's Atmosphere. This list makes it possible to plan for the re-entry of threatening objects and to coordinate actions with national and international partners. During the week prior to re-entry, dedicated observation means are activated in order to gather observational data on the object and to compute the re-entry window (cf. Figure 10. Example of a predicted re-entry window of CZ-5B R/B (COSPAR ID 2021-035B), an object with an estimated mass of 20 tons)

Guideline B.10 - Observe measures of precaution when using sources of laser beams passing through outer space

61. The combined expertise of CNES and ONERA in the field of orbitography and laser technologies allows France to ensure a maximum level of safety when using lasers that generate beams passing through near-Earth outer space.

C. International cooperation, capacity-building and awareness

Guideline C.1 - Promote and facilitate international cooperation in support of the long-term sustainability of outer space activities

62. International and regional cooperation in SSA and space debris are of utmost importance for outer space sustainability. They allow common actions to improve the accuracy of orbital data and the sharing of orbital information on space objects.
63. At the regional level in Europe, Decision n°541/2014/UE of the European Parliament and the Council in 2014 established a Framework for Space Surveillance and Tracking Support, referred to as the EU SST cooperation. As part of the new Multi Annual Financial Framework (MFF) of the European Union for the

period 2021-2027, and following the adoption of the Space Regulation¹⁸ in April 2021, SST is now a fully-fledged security component of the European Union space program. Reflecting this, France (CNES together with the Ministry of the Armed Forces) is currently focusing its efforts on gradually building a new European SST partnership, expanding from a consortium of 7 Member States (France, Germany, Italy, Spain, Poland, Portugal, Romania) to a partnership of up to 16 Member States, with the support of the European Commission. France (represented by CNES), has been chairing the Presidency of EU SST since 2017, and is at the forefront of efforts to ensure the success of the new partnership.

64. EU SST is a good working example of multilateral cooperation at the point where space safety and space security intersect. France supports the development of EU SST in all its domains of intervention and shares its strategic objectives:
- (a) Security: EU SST is security relevant, its operations take account of the duality of the SSA domain and the importance of security aspects. Military and NSA security stakeholders are involved in all security decisions (a security committee is in charge of data policy and security provisions).
 - (b) Operations: EU SST is fully operational 24/7 (sensors, database, services), providing high quality general public services (i.e. collision avoidance, re-entry and fragmentation) to ensure the protection and resilience of space infrastructures, including European Union flagships Galileo and Copernicus, to avoid collisions in space and prevent the proliferation of space debris and, finally, to contribute to the long-term sustainability of space. As of today, 243 satellites are registered as part of the collision avoidance service and more than 130 organizations have signed up to SST services.
 - (c) Looking ahead to the future SST partnership, EU SST is also considering new general public services to improve space traffic coordination and ensure safe space operations (platform of coordination, mitigation, remediation, radio-frequency interference).
 - (d) A major program to pursue research and innovation and develop capabilities has been in place for many years with the aim of achieving a higher level of strategic autonomy in Europe.
 - (e) In turn, EU SST aims to contribute to global burden-sharing in the SSA domain and to act as a reliable and capable partner in the international arena.
 - (f) Last but not least, EU SST aims to foster innovation in the SSA commercial sector, supporting the competitiveness of entrepreneurs, start-ups and the downstream space industry. It is promoting the consolidation of an industrial and start-up ecosystem and a service economy around SSA, strengthening Europe's strategic autonomy in this area.
65. At the inter-agency level, France has been involved in the work of the Inter Agency Space Debris Coordination Committee (IADC) since 1996. The IADC is composed of 13 members. The defense community (CDE, DGA and ONERA) is part of the French delegation under the responsibility of CNES. In accordance with the terms of reference (Article 1), the general purpose of IADC is "to exchange information on space debris research activities between member space agencies, to facilitate opportunities for cooperation in space debris research, to review the progress of ongoing cooperative activities and to identify debris mitigation options". The activities of Working Group 4 on space debris mitigation are "primarily designed to promote and to improve orbital debris research by members of IADC" (Article 7). France reaffirms its view that the IADC should provide only technical recommendations to the international space community as options to be considered and should not act as a regulatory organization. France is participating in activities relating to the detection and monitoring of space debris (optical and radar sensors), operational monitoring of risky re-entry, modelling of space debris evolution, satellite protection and the study of measures to reduce or avoid the creation of space debris and reduce the hazards created by space debris.

¹⁸ Regulation (EU) 2021/696 of the European Parliament and of the Council of April 28, 2021 establishing the Union Space Program and the European Union Agency for the Space Program and repealing Regulations (EU) No. 912/2010, (EU) No. 1285/2013 and (EU) No. 377/2014 and Decision No. 541/2014/EU

Guideline C.2 - Share experience related to the long-term sustainability of outer space activities and develop new procedures, as appropriate, for information exchange

66. CNES has a longstanding legacy in sharing experience, expertise and information relating to the long-term sustainability of outer space activities, and is continuing to pursue this aim.
67. Every two years, CNES organizes three international workshops at its head offices in Paris Les Halles:
- (a) The International workshop on Space Debris Modelling and Remediation. This workshop is an opportunity to discuss innovative methods to assess long-term changes in the space debris population, as well as limiting its proliferation by considering innovative mitigation and remediation approaches.
 - (b) The International Conjunction Assessment Workshop. This international event brings together the world's specialists in conjunction assessment – a key part of efforts to preserve the space environment – with a view to sharing knowledge and expertise in order to effectively mitigate orbital collision risks and move forward together in this field at the international level.
 - (c) The Satellite End of Life and Sustainable Technologies Workshop. Space operators and industry are invited to provide an overview of the state of the art in technologies and concepts relating to end-of-life disposal and to discuss possibilities to improve present and relevant future challenges. The topics discussed include re-entry risk modelling, design for demise, re-entry observation, end-of-life operations and mission extension.
68. CNES experts currently chair the three international academic committees addressing long-term sustainability issues and allowing the exchange of information, expertise and experience relating to the long-term sustainability of outer space activities between the members of these committees:
- (a) The IAA¹⁹ space debris committee
 - (b) The IAF²⁰ space security committee
 - (c) The IAF technical committee on space traffic management, coordinated with the IAA and IISL²¹
69. This last technical committee seeks to develop comprehensive approaches and proposals in order to promote the safe use of outer space to be submitted to decision-makers at the national and international level. It brings together 150 experts from 24 countries, subdivided into 14 thematic working groups, each dealing with a precise domain strongly influenced by the 21 LTS guidelines; 14 French experts are taking part in this effort, including 7 from CNES, of whom 4 are chairing some of the working groups. An intermediate progress review was held at the 2021 IAC conference in Dubai and the final report is expected for the IAC 2022 in Paris.

Guideline C.3 - Promote and support capacity-building

70. CNES and ESA were the founding partners launching the initiative of the International Charter on “Space and Major Disasters” at the United Nation's UNISPACE III Conference in Vienna in July 1999. The CSA (Canadian Space Agency) immediately joined this initiative. In September 1999, these three founding agencies initiated the pilot phase and signed the agreement to create the International Charter in October 2000. The Charter was declared operational on November 1, 2000 and, since then, has provided a service operating 24/7 through a single access point, at no cost to users. Since 2000, satellites have provided a global vision of the areas affected by disasters. They have provided valuable assistance in the management of crises and the organization of relief in the aftermath of major disasters. Space agencies make their fleet of satellites available to the Charter (for a total of more than 60 satellites, with various optical and radar

¹⁹ International Academy of Astronautics

²⁰ International Astronautical Federation

²¹ International Institute of Space Law

sensors). All these satellites together have provided the Charter with over 8,500 images (optical and radar) for 55 activations in 2020.

71. Today the International Charter on “Space and major disasters” has 17 members providing their satellite data free of charge to support a global disaster response by delivering rapid mapping of a devastated area. In addition to those members, 20 organizations collaborate with and support the Charter in disaster monitoring activities. If a country is unable to activate the International charter, it can submit requests to international organizations such as UNOOSA and UNITAR/UNOSAT, which are Cooperating Bodies. In addition, the Charter signed a cooperation agreement with the European Union's Copernicus Emergency Management Service (EMS) on April 20, 2018. While primarily covering disasters in Europe, it also responds to disasters around the world. Furthermore, Sentinel Asia is a voluntary international initiative responding to disasters in the Asia-Pacific region, an area of the world that frequently suffers from disasters such as floods, storms, earthquakes and volcanoes. Sentinel Asia collaborates with the International Charter.
72. France regularly provides images of its Pleiades and SPOT satellites. French Pleiades (1A and 1B) satellites images are the means most frequently used by the Charter to produce value-added maps. Almost 30% of the value-added maps delivered by the International Charter are based on Pleiades images. Pleiades 1A & 1B space and ground segments have been designed to provide data in record time, offering daily revisit capacity anywhere on the globe, covering large areas with a reactive tasking. This was the case in August 2021 when the International Charter was activated, Pleiades images were delivered to local authorities in Haiti following two successive major events: a 7.2 magnitude earthquake on August 14, and the tropical storm Grace on August 16 and 17. In France, French civil protection (COGIC) can trigger the International Charter for France or any other country. CNES takes part in the acquisition of satellite images and the production of damage maps that can be sent to the rescuers. CNES has chaired the Board of the International Charter 6 times to date (for a period of 6 months each time).
73. As part of the Committee on Earth Observation Satellites (CEOS), where CNES has been chairing the Working Group on Disasters since December 2021, CNES has been leading a joint effort for several years with the World Bank, the United Nations Development Program, and the European Union, to increase the use of satellite data and derived products in supporting recovery from major disasters. This is a natural complement to the activity of the Charter, given that recovery begins at the end of the emergency response phase addressed by the work of the Charter. After a four-year pilot in Haiti, addressing recovery efforts for Hurricane Matthew in 2016, CNES and the World Bank put forward a proposal for a three-year Recovery Observatory (RO) demonstrator. The objective is to create between three and five ROs towards the end of the 2020-2023 period, following major disasters. The ROs target early recovery, with particular emphasis on supporting Post Disaster Needs Assessments undertaken as part of the Tripartite Agreement, as well as other recovery and damage assessment actions. They also seek to support the establishment of recovery frameworks. To date, after a small-scale trial in Beirut following the explosion of August 2020, the RO has since been triggered twice, for the Eta-Iota Hurricanes in Honduras, Guatemala, and Nicaragua, and for the earthquake in Haiti in August 2021. In addition to contributing satellite imagery and value-added products, CNES provides management support for the global initiative and is working with international recovery stakeholders to develop a vision for long-term sustainable access to satellite-based recovery products. The RO is part of the mechanisms and tools recommended in the Space2030 Agenda recently adopted by the General Assembly of the UN (October 25, 2021). As leader of the RO within CEOS, CNES is working on the sustainability of this mechanism.

Guideline C.4 - Raise awareness of space activities

74. The Paris Peace Forum is a French multilateral initiative launched in 2018 by the President of the Republic Emmanuel Macron to create a multi-stakeholder platform addressing global governance issues. Throughout the year, the Forum works to strengthen the governance of common goods, such as space, cyberspace, or the oceans, to improve the international management of global issues, and to support the development of artificial intelligence (AI) and disruptive technologies as well as the ecological and social transition of the economy. Its annual meeting brings together heads of state and government, heads of international organizations, civil society leaders and private sector executives around concrete initiatives

that place particular emphasis on the Global South. Over 2021, the Forum developed an initiative to mobilize public and political opinion around the protection of Earth's orbits.

75. The Net Zero Space initiative, which was formally presented to the public on November 12 as part of the 4th edition of the Forum, brought together actors from all over the world, ready to commit themselves to ensuring the sustainable use of space by 2030. The initiative recommended urgent action from 2021 onwards to rapidly contain and then reduce the ongoing pollution of the Earth's orbital environment: (a) by avoiding further generation of hazardous space debris, and (b) by remediating existing hazardous space debris. All stakeholders²² committed themselves to declaring one (or several) concrete action(s) already effective or planned in the short term to this end. Actors from the space sector who support the long-term sustainability of outer space are encouraged to join the Net Zero Space initiative of the Paris Peace Forum. This initiative is the first of its kind in that it brings together a wide range of actors from all sectors (from space agencies to private satellite operators and rockets launchers, from the academic world to NGOs and think tanks) and all regions (the US, China, Europe, and the Global South) as part of the same coalition.
76. Through its space missions, France also intends to remain at the forefront of efforts to further sustainable development, including climate change and water monitoring. In this respect, it regards Space as being essential to monitoring and mitigating climate change, and helping societies to adapt to its effects. Note that out of 50 essential climate variables, 26 can only be monitored from space. Space-based systems provide by far the most data for climate models and are continuing to improve their forecasting ability. The data provided by these systems, and in particular those developed and operated by France or in partnership with ESA, were of primary importance at the 21st Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change (or "COP 21"), leading to the adoption of the Paris Agreement on December 12, 2015 and its subsequent ratification on November 4, 2016. In order to implement the Paris Agreement, CNES set up the Space Climate Observatory (SCO). Initiated as part of the One Planet Summit on December 12, 2017, the SCO came into being with the signature of a declaration of intent at the Paris Air Show on June 17, 2019, attended by the President of the French Republic. Today, 33 space agencies and 3 UN organizations (UNDP, UNEP, UNOOSA) are members of the SCO. A new Charter aiming at extending the governance and missions of the SCO is scheduled for approval by June 2022.
77. France is pursuing strong and exhaustive involvement in space education activities, with students at all levels, from primary school to university. Educational activities led by CNES cover both the theoretical and experimental aspects of space science. A project-based learning approach that allows students to use, validate and enrich their achievements on specific topics as part of multidisciplinary studies encompassing launchers, CubeSat, Earth observation, exploration, microgravity, telecommunication, navigation and balloons. As part of these activities, a range of educational tools and resources are available, with over fifteen different projects/programs. They include:
 - a. PERSEUS, which allows students not only to develop innovative technologies but also to make launchers such as SERA4 (4m long, Alt. 5km), ARES GUYANE (2.70m long, 2.5km) and SERINITY (4.8m long, Alt. 5km).
 - b. NANOLAB ACADEMY, which allows students to develop real complete and operational CubeSat and nanosatellite systems. Seven satellites are currently under development and 5 have been launched since 2017.
 - c. Spaceship FR, which provides a habitable environment for the development of the technological niches necessary to explore the planet Mars via the Moon.
 - d. PRAGMATIC, which provides students with the framework to study, develop and implement technologies and functional models dedicated to extra-terrestrial soils.
 - e. CNES via Novespace, which allows students (high schools, universities) to conduct experiments in weightlessness aboard the Airbus Zero G.

Overall, more than 2,000 students and 30 structures are involved each year in these programs. CNES also organizes or contributes to a broad panel of educational activities for students and teachers based on

²² As of November 12, 2021, the signatories are: Arianespace, Astroscale, CGSTL/Chang Guang Satellite, CNES, EU SST, Eutelsat, International Institute of Air and Space Law, Isispace, Planet, Share my Space, SpaceAble

capacity building, with dedicated summer schools, conferences, workshops, meetings, exhibitions and challenges.

D. Scientific and technical research and development

Guideline D.1 - Promote and support research into and the development of ways to support sustainable exploration and use of outer space

78. To promote and support research into sustainable space technologies, CNES set up the initiative Tech4SpaceCare with a view to developing technological elements to ensure the sustainable use of space and the safety of space operations. This initiative will also seek to watch the subject and federate technical activities inside CNES and within the space industry in France. Its activities focus on maintaining the sustainability of space through a range of actions, including studies on spacecraft reliability, the use of thermite energy for destruction during atmospheric re-entry, studies into hypervelocity impact on tanks with reactive propellant, modelling of inertia wheels with tools to promote design for demise during re-entry, thermal studies on end-of-life satellites with several degradation scenarios. Many other studies are ongoing or will follow.

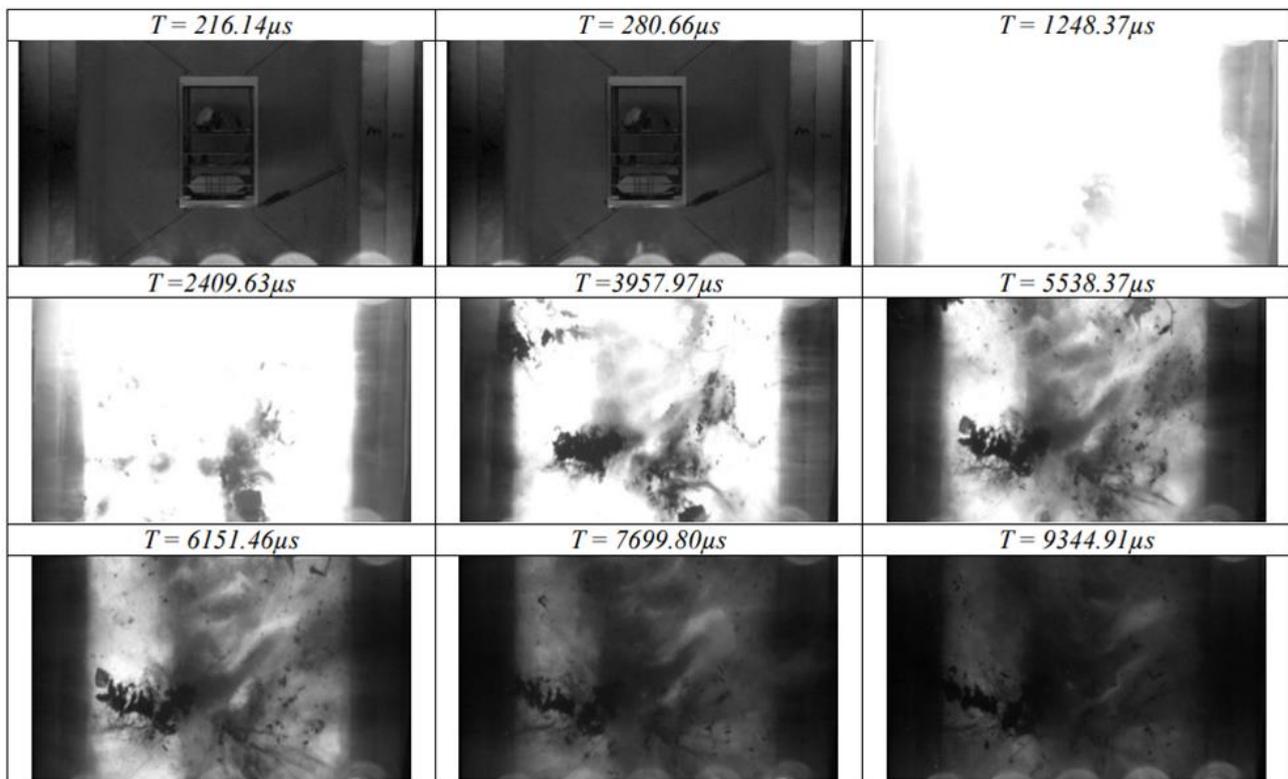


Figure 11 T4SC HVI experiment: hypervelocity impact at 6690 \pm 50 m/s on a 4 mm piece of aluminum debris on a CubeSat

79. Concerning the development of technologies that reduce environmental impact, most CNES space projects, from launchers to satellites and infrastructures, are underpinned by a comprehensive eco-design approach. Eco-design involves factoring in environmental concerns at every stage in the project, from the early conceptual phase through to development, operation, and end of life. To this end, CNES is committed to a life-cycle analysis approach that allows all the impacts of a project to be measured in an objective way. This method takes account of the materials used, business travel by employees, and power consumption by data centers in order to determine the organization and processes best able to deliver good environmental stewardship. One example in the field of launchers is the design of a prototype for a reusable launcher first stage (Themis). Recovering some or all of a launcher for reuse clearly calls for a sustainable development approach. For this reason, the other mission of Themis will be to demonstrate that its three re-ignitable Prometheus engines can run on liquid oxygen and bio-methane rather than the traditional propellants that generate more atmospheric pollution.

80. As a leader of the space community, CNES is pulling along a whole industrial and regional ecosystem in its wake. It is also paying close attention to management, instituting a responsible procurement strategy and building a relationship of trust with its customers and suppliers. The procurement policy is crucial, due to the high volume of orders placed per year. For example, we have defined a process where the “best bids” for government contracts will be chosen on the basis not only of technical and economic criteria, but also environmental requirements for the sustainable use of outer space.

Guideline D.2 - Investigate and consider new measures to manage the space debris population in the long term

81. The CNES Space Situational Awareness Office has developed the French space debris evolutionary models, MEDEE (Modelling the Evolution of Debris on the Earth Environment), making it possible to analyze the impact of any mitigation or remediation measures on the long-term evolution of the orbital environment. The analysis performed by MEDEE enables us to assess the impact of large constellations on the long-term evolution of the orbital environment, depending in particular on their post-mission disposal success rate as well as on their residual orbital lifetime after disposal. Based on this analysis, we can conclude that existing post-mission disposal guidelines (e.g. 90% post-mission disposal success rate as well as the 25-year rule) are not sufficient to guarantee the sustainable use of space in the presence of large constellations.

82. In the light of the benefits of remediation approaches, alongside mitigation approaches, in improving the long-term sustainability of the orbital environment, the CNES Space Situational Awareness Office has developed a set of environmental indices to assess the criticality of any object in relation to the long-term sustainability of the environment. These indices have been used as part of an international collaborative effort to identify the top 50 statistically-most-concerning derelict objects in LEO (cf. D. McKnight et al. Identifying the 50 Statistically-Most-Concerning Derelict Objects in LEO. Acta Astronautica, volume 181, April 2021, Pages 282-291).

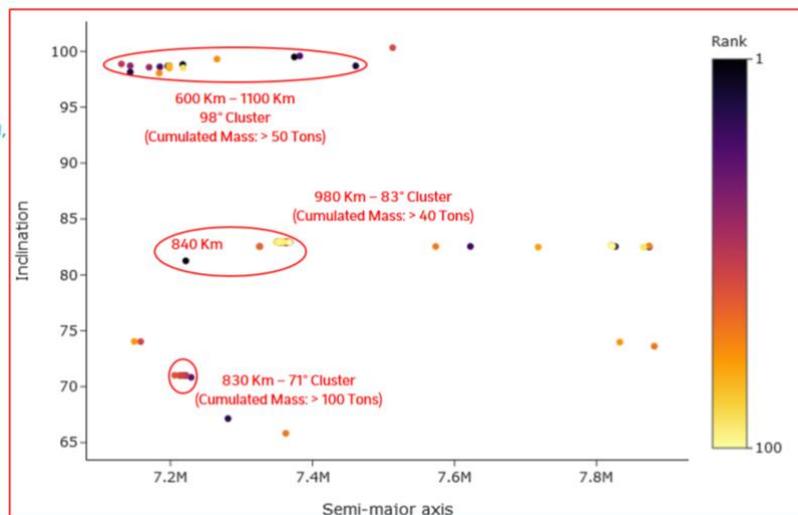


Figure 12. Ranking (color code) of the top 50 statistically-most-concerning derelict objects in Low Earth Orbit, highlighting the fact that these objects are concentrated in three main clusters

83. CNES is developing and coordinating a strong R&D program at the national and European levels in order to develop innovative methods to avoid collisions. In particular, it is conducting R&D studies into the improvement of on-ground automation and on-board autonomy in order to automate the avoidance of collision risks for the owner and operators as much as possible. The aim of CNES is to rapidly transition from technology R&D to the demonstration stage, in order to improve the safety and security of space operations quickly and effectively. This is illustrated in particular by the recent in-flight demonstration of the ASTERIA system (Autonomous Station-keeping Technology with Embedded collision Risk Avoidance system) as part of the ESOC OPS-SAT 3-Units CubeSat experiment (cf. Jerome Thomassin et al., ASTERIA: *Autonomous Collision Risk Management*, 72nd International Astronautical Congress (IAC), Dubai, United Arab Emirates, October 25-29, 2021).

84. CNES is working on the development of new methods for Collision Avoidance Maneuvers (CAM) in order to mitigate multi-risk situations including repeated approaches to the same space object or simultaneous avoidance of several space objects. In addition, CNES is developing collision risk calculation methods to better characterize the type of encounter and improve the associated probability calculation. Improvements also concern better characterization and propagation of the uncertainties relating to continuous thrust, particularly in the case of Electric Orbit Raising.
85. CNES is working on the development of innovative technologies to avoid collisions between non-maneuverable spacecraft. Laser technologies as well as Just-in-Time Collision Avoidance (JCA) concepts have been developed by CNES in collaboration with national and international partners.
86. As part of the mitigation activities carried out for the purposes of the French Space Act, CNES has developed a complete multidisciplinary tool in order to predict the survivability of space objects during their re-entry into the Earth's atmosphere and assess their prospective risk on the ground. PAMPERO is a spacecraft-oriented tool, designed to simulate an entire spacecraft using a moving mesh method for as much realism as possible. This approach is more accurate than the one previously used, owing to the local calculation of the different aerothermodynamic parameters (pressure coefficient, convective/radiative heat flux, temperature, etc.). With this tool, CNES is now able to develop and investigate the full range of design-for-demise techniques and technologies.
87. For purposes of satellite passivation at end-of-life and the prevention of on-board explosions, CNES has developed a passivation device called a "microperforator", designed to passivate all pressurized devices and prevent explosions caused by residual energies. Extensive tests have been conducted in order to understand battery passivation and to decide the best way in which to safely complete the depletion of the spacecraft battery. It is essential to be aware of the risks posed by the battery itself: the temperatures or radiation doses that it is able to withstand, or the probability of a thermal runaway leading to a cell explosion.

Conclusions

88. Space has become a fast-changing environment, with an increase in both risks and threats, and new challenges for the safety and security of space activities.
 - (a) France acknowledges the emergence of newcomers and the diversification of space actors, leading to a growing complexity in space operations. We also foresee the development of large constellations and a strong increase in the number of small satellites. There are also moves towards active debris removal (ADR), in-orbit servicing (IOS), rendezvous and proximity operations (RPO), which can be perceived as dual-use technologies. This combination of factors and trends brings many opportunities while also increasing the risks of collision and interference, as space becomes denser and more congested.
 - (b) At the same time, intentional threats are increasing in the domain of space. The peaceful use of outer space that has prevailed in the past can no longer be taken for granted. A number of States are developing a diverse range of capabilities able to destroy damage or disable the space assets on which we depend. Unprecedented technological progress has been made, with techniques of non-cooperative rendezvous, robotics and electric propulsion capabilities, and these could be diverted from their civilian applications for hostile purposes. Under cover of civilian goals, States can openly finance potential anti-satellite technologies. Those dual technologies could pave the way for the development of space resources whose actions would be much harder to detect, track, attribute and counter. Today, a satellite designed for commercial purposes may conceal additional military payloads. As a result, it may be harder in the future to make a distinction between commercial and military systems. We are facing a paradigm shift with a contested and conflicting context in space. Today, close approach and proximity operations by foreign objects of satellite-inspection class are already a reality.

89. Given the dependency of our society on space assets, ensuring the safety and security of space activities is a priority for all of us. France believes that the actions of the international community should be based on several principles:
- (a) Space activities should be pursued in accordance with the Charter of the United Nations, which is fully applicable to outer space, and with international law, as these provide an appropriate and adequate framework.
 - (b) The international community must provide a comprehensive response, taking account of the dual nature of space activities, as well as the need to promote the responsible use of space in the pursuit of both civilian and military space programs.
 - (c) Any responses must be effective, pragmatic, monitored and able to deliver concrete and immediately measurable benefits. These benefits should also be sustainable.
 - (d) Last, the actions of the international community must be part of efforts to develop practices that increase confidence and transparency between actors.
90. In other fora, France supports the development of a set of norms for responsible behavior in space²³. In this regard, it will become even more necessary in the future to have guidelines, best practices and agreed principles. France supports confidence-building and transparency measures, as well as the adoption of norms aimed at guiding the behavior of actors in space. In this respect, we need to develop a shared understanding of what is considered responsible behavior in space.
91. In France, the French space agency (CNES) has long experience in ensuring the safety of space operations with the French Space Operations Act. Adopted in June 2008, the Act requires spacecraft operators to adopt a strategy of space debris limitation. The derived Technical Regulation, which came into force in March 2011 is applicable to launch operations, in-orbit operations during the operational lifetime and end-of-life post-mission disposal operations. CNES is responsible for supervising spacecraft operators, on behalf of the Ministry of Higher Education and Research, which in turn issues authorizations to the operators. The national regulatory framework makes a key contribution to the long-term sustainability of outer space activities.
92. In this fast-changing environment, with an increase in both the risks and threats in space, the question of Space Situational Awareness (SSA) is of the utmost importance. Today, and in the future, we will need to be able to detect, identify, characterize, understand, analyze, attribute and verify what is happening in outer space. An awareness of the highly dynamic and increasingly complex near-Earth space environment appears to be essential to safeguarding space-based assets, ensuring access to space and contributing to the safety, security and sustainability of space in the long run. The increasing pressure on orbital regimes such as LEO and GEO will drive and foster the need for large-scale SSA.
93. The strength and efficiency of SSA in France is based on its dual nature as a civilian and military organization. This is considered to be of key importance for contributing to outer space sustainability. France believes that this is an effective way to address national issues as well as European and international cooperation issues for outer space sustainability. Close cooperation exists between the French Ministry of the Armed Forces and the French Space Agency (CNES), not only at programmatic and strategic level, to define policy, capacities and priorities in space surveillance, but also at the level of sensor and operations:
- (a) Concerning sensors, the French Ministry of the Armed Forces operates the GRAVES survey radar and several tracking radars (SATAM) that CNES uses on a regular basis. GRAVES is a bi-static radar, designed by ONERA (the French Aerospace Lab) and operated by the French Space Command. Working with the CNRS (French National Center for Scientific Research), CNES also operates three TAROT telescopes located at Calern, in Chile and on Reunion Island, for survey and tracking purposes.

²³ Resolution adopted by the General Assembly on December 7, 2020 (A/RES/75/36): Reducing space threats through norms, rules and principles of responsible behaviors

(b) At operational level, France has two Operations Centers. First, the French Military Space Operations Center, which is responsible for formulating and updating space security and space defense situational awareness for the military and political authorities. Second, the CNES SSA Operational Centre, with a team on call 24/7, dedicated to conjunction assessment, alerts and recommendations of collision avoidance maneuvers for spacecraft operators and owners. Today, more than 240 satellites are currently protected from the risk of collision. The center also performs operational monitoring campaigns for the re-entry of risky space objects into the Earth's atmosphere.

94. The efficiency of France's dual SSA activities and the French Space Operations Act make a key contribution to security, safety and sustainability in space. The goal in France and in Europe is to work together in order to improve the efficiency of collective action. Given that space is a global challenge that nations need to address together, the main decisions in France are often taken and implemented in coordination with European and international partners.

1.

Présentation générale de la vision de la France et de ses mesures en vue de l'utilisation pacifique de l'espace extra-atmosphérique aux fins de la viabilité à long terme des activités spatiales, dans le cadre de l'application des 21 lignes directrices (A/74/20, Annexe II)

Document soumis par la France

[Traduction en anglais réalisée par la délégation française]

1. La France se réjouit de pouvoir présenter sa vision de la viabilité à long terme des activités spatiales et les mesures prises à cette fin. Elles s'inscrivent dans le cadre de la mise en œuvre des 21 lignes directrices adoptées par le Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique lors de sa 62^{ème} session (A/74/20 Activité, Annexe II) et endossées par l'Assemblée générale des Nations Unies en octobre 2019. Comme l'a rappelé le Comité, ces lignes directrices doivent être soumises à la considération des États membres et des organisations intergouvernementales internationales en vue de leur mise en œuvre volontaire (A/74/20, Annexe II, paragraphe 16).
2. La France a toujours accordé un intérêt particulier à la viabilité à long terme des opérations spatiales et a joué un rôle de premier plan au sein du groupe de travail sur la viabilité à long-terme des activités spatiales. La France souhaite notamment rappeler que la création de ce groupe a été proposée par Gérard Brachet en 2008 en sa qualité de Président du Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique (CUPEEA). Toutes les nations partagent ce constat : il est nécessaire de renforcer la viabilité à long terme des opérations spatiales ainsi que leur sécurité et leur sûreté. Il est dans l'intérêt de toutes nations, qu'elles soient puissances spatiales pacifiques ou utilisant l'espace, d'inciter à une utilisation responsable de l'espace et de réduire les débris orbitaux, afin de protéger d'un risque de collision les engins spatiaux en orbite et de préserver l'environnement spatial. La France est convaincue que ces 21 lignes directrices consensuelles ainsi que le préambule associé constituent une réussite de premier plan pour le Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique.
3. Les lignes directrices adoptées fournissent un ensemble cohérent de recommandations dont la mise en œuvre volontaire est essentielle pour la viabilité à long terme des opérations spatiales. A cette fin, la France soutient une mise en œuvre rapide de ces lignes directrices afin d'améliorer la viabilité à long terme des opérations spatiales.
4. La France se félicite de la création du groupe de travail de suivi (LTS 2.0) et salue l'élection de Monsieur R. Umamaheswaran (Inde) à sa présidence. La France estime que le partage et l'évaluation des meilleures pratiques en matière de mise en œuvre concrète des lignes directrices en vue de la viabilité à long terme des opérations spatiales entre les puissances spatiales améliorera la communication, la coopération internationale et le renforcement des capacités tout en préservant l'environnement extra-atmosphérique pour les générations futures. La mise en œuvre des 21 lignes directrices et le renforcement des capacités dans ce but doivent donc constituer le socle sur lequel le groupe de travail de suivi LTS 2.0 basera son travail sous l'égide du Sous-comité scientifique et technique.
5. Par conséquent, la France souhaite présenter ses initiatives suivantes en matière de mise en œuvre des 21 lignes directrices et de la viabilité à long terme des opérations spatiales.
6. L'agence spatiale française, le CNES, fondée en 1961, est un acteur majeur de la viabilité à long terme des opérations spatiales et de la mise en œuvre volontaire des lignes directrices. Le CNES est l'agence gouvernementale responsable de l'élaboration, du développement et de la mise œuvre de la politique spatiale de la France. Grâce à sa capacité d'innovation et à sa vision prospective, le CNES participe au développement de nouvelles technologies au service de l'ensemble de la société. Ces technologies sont appliquées à 5 domaines : l'accès à l'espace (avec Ariane), les télécommunications, l'observation, la science, la sécurité et la défense. Le CNES tient compte du développement rapide de l'économie

numérique et soutient la création des solutions économiques, sociétales et environnementales proposées par les start-ups et les entrepreneurs du New Space dont bénéficieront les autres secteurs de l'économie.

A. Cadre directeur et réglementaire des activités spatiales

Ligne directrice A.1 - Adoption, révision et modification, au besoin, de cadres réglementaires nationaux régissant les activités spatiales

7. La France a voté quatre lois en appui des efforts de développement durable sur Terre et en lien avec des activités spatiales: la loi Climat et Résilience, la loi de transition énergétique pour la croissance verte (LTECV), la loi pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages et la Loi sur les Opérations Spatiales (LOS). Afin de protéger l'environnement et d'atténuer le changement climatique, la France met en place des politiques concernant l'impact des missions spatiales et met à disposition les moyens techniques permettant de mettre en œuvre ces dernières.
8. La Loi sur les Opérations Spatiales du 3 juin 2008, complétée par des décrets et une réglementation technique, établit le cadre juridique des opérations spatiales en France.
9. En 2019, le Ministère des Armées a adopté une nouvelle Stratégie Spatiale de Défense. L'adoption de cette stratégie a été suivie de la création du Commandement De l'Espace (CDE), service qui poursuit un objectif triple : garantir l'utilisation pacifique et responsable de l'espace, tirer parti des opportunités créées par l'accès de nouveaux acteurs (New Space) à l'espace tout en s'adaptant aux risques liés à cette nouvelle donne et répondre aux défis inhérents à la concurrence croissante due à la multiplication des opérateurs.

Ligne directrice A.2 - Éléments à prendre en considération lors de l'élaboration, de la révision ou de la modification, au besoin, de cadres réglementaires nationaux régissant les activités spatiales

10. En France, les autorisations de réalisation d'opérations spatiales (lancements ou contrôles en orbite) sont délivrées par le ministère en charge de l'espace après évaluation préalable de la conformité à la réglementation technique. Cette analyse détaillée est menée par le CNES au nom du Ministère.
11. La réglementation technique inclut des exigences garantissant que toute opération spatiale :
 - a. limite la quantité de fragments et prévoit des opérations sur le satellite en fin de vie afin de respecter les zones protégées ;
 - b. limite les risques pour les populations et les biens au sol lors des phases de lancement et de rentrée atmosphérique ;
 - c. limite les risques sanitaires et environnementaux associés au retour des engins spatiaux sur Terre ;
 - d. est conforme à la réglementation en vigueur en matière de sécurité nucléaire au moyen d'un plan spécifique en cas d'utilisation de matériaux radioactifs.
12. En vertu de la LOS, tout opérateur doit mener, pour toutes ses opérations spatiales, une évaluation de l'impact sur l'environnement et une étude sur les dangers accompagnée d'un plan de gestion des risques afin d'assurer la protection des populations, des biens, de la santé publique et de l'environnement.
13. La procédure d'autorisation et l'évaluation de conformité à la réglementation technique garantissent que les opérateurs ont les moyens, les ressources, les compétences nécessaires ainsi que l'organisation adéquate pour réaliser des opérations spatiales conformes à la LOS. Elles permettent également aux autorités compétentes de vérifier la conformité des objets spatiaux tout au long de leur durée de vie opérationnelle, jusqu'à leur élimination, grâce au traitement des données issues de chaque évènement technique ou organisationnel.
14. Cette réglementation est mise à jour dès lors qu'un nouveau besoin apparaît. Le premier amendement date de 2017. Il rassemble tous les enseignements tirés au cours des 6 années qui ont suivi la mise en œuvre de la LOS ainsi que des évolutions de l'environnement extra-atmosphérique. Depuis 2021, une nouvelle mise à jour de la réglementation technique est en cours. Elle se poursuivra tout au long de l'année 2022 au moyen d'une consultation avec l'écosystème industriel spatial, notamment les acteurs du New Space, les fournisseurs de services de maintenance en orbite et les larges constellations de satellites, et grâce à la mise

en œuvre des lignes directrices aux fins de viabilité à long terme des opérations spatiales, comme, par exemple, l'exécution d'évaluations de conjonctions.

15. La LOS prévoyait une phase de transition d'une durée de 10 ans qui a pris fin en 2020, au cours de laquelle certaines des exigences de la réglementation technique n'étaient pas encore applicables. Grâce à cette période, les opérateurs ont disposé du temps nécessaire à la mise en conformité avec la réglementation. Aujourd'hui, la LOS et l'ensemble de ses articles sont en vigueur.
16. Nous souhaitons également souligner la création de « Collective for Space Care » par le CNES, qui rassemble actuellement, de manière volontaire, les opérateurs et les partenaires spatiaux soucieux du respect des traités internationaux, des principes relatifs aux affaires spatiales et du cadre normatif gouvernant le droit spatial ainsi que des meilleures pratiques qui en découlent.

Ligne directrice A.3 - Supervision des activités nationales relatives à l'espace

17. La LOS prévoit que toute activité spatiale réalisée par un opérateur français doit être autorisée et supervisée de manière continue, conformément aux traités internationaux, et plus particulièrement au Traité sur les principes régissant les activités des États en matière d'exploration et d'utilisation de l'espace extra-atmosphérique (27 janvier 1967) ainsi que la Convention sur la responsabilité internationale pour les dommages causés par des objets spatiaux (29 mars 1972). Cette procédure permet à la France de maîtriser sa responsabilité en matière d'opérations spatiales au titre des traités susmentionnés.
18. La LOS régleme les autorisations et la supervision de toutes les opérations spatiales réalisées par les opérateurs français et tient compte des développements à long terme des activités spatiales. La réglementation technique a été élaborée en tenant compte des Lignes directrices relatives à la réduction des débris spatiaux adoptées par le CUPEEA et endossées par l'Assemblée Générale des Nations Unies (A/RES/62/217), des pratiques recommandées et des lignes directrices du Comité inter-agence de coordination des débris spatiaux (IADC) et par le Comité de la recherche spatiale (COSPAR) ainsi que des normes techniques internationales existantes, notamment celles de l'Organisation internationale de normalisation (ISO) et du Comité Consultatif pour les Systèmes de Données Spatiales (CCSDS), références reconnues par la communauté spatiale internationale pour la conduite sûre des opérations spatiales.

Ligne directrice A.4 - Utilisation équitable, rationnelle et efficace du spectre des fréquences radioélectriques et des diverses régions orbitales utilisées par les satellites

19. L'UIT (Union internationale des télécommunications) est l'agence des Nations unies spécialisée dans les technologies de l'information et de la communication (TIC). Sa mission consiste à consolider et étendre la coopération internationale entre les États membres dans le but d'améliorer et de défendre une utilisation rationnelle des télécommunications de tout type, et de promouvoir le développement d'infrastructures techniques ainsi que leur efficacité opérationnelle afin de les rendre plus utiles et plus accessibles au grand public, dans la mesure du possible.
20. Le Secteur des radiocommunications de l'UIT (UIT-R) joue un rôle prépondérant dans la gestion mondiale de l'utilisation du spectre des radiofréquences et des orbites de satellite. Ce sont des ressources naturelles limitées pour lesquelles la demande ne cesse d'augmenter. Elles sont très recherchées dans les domaines des services fixes ou mobiles, de la diffusion, des services d'amateur, de la recherche spatiale, des télécommunications d'urgence, de la météorologie, des systèmes de positionnement, de la surveillance environnementale et des services de communication en général. L'objectif primordial de l'UIT-R est d'assurer l'absence d'interférence dans les radiocommunications, notamment par l'application du Règlement des radiocommunications et des Accords régionaux ainsi que de la mise à jour opportune et efficace de ces instruments. Les conférences régionales et mondiales de l'UIT développent et mettent à jour les règlements internationaux portant sur l'utilisation du spectre des radiofréquences et des orbites de satellite.
21. L'ANFR (l'Agence nationale des fréquences) est l'organisme gouvernemental qui représente la France dans les instances internationales (l'UIT-R ou la CEPT pour l'Europe). L'ANFR participe notamment à

l'élaboration de l'ordre du jour des CMR (Conférences mondiales des radiocommunications). Elle est aussi responsable de la préparation, de la coordination et de la défense des positions de la France au sein des organisations internationales. En France, le CNES est responsable des fréquences utilisées par les satellites scientifiques (observation de la Terre, observation et exploration spatiale, radiopérage par satellite). Le CNES soumet régulièrement des points à l'ordre du jour des CMR. Pour cette raison, le CNES est souvent le coordinateur européen de l'ordre du jour. En outre, le CNES occupe la présidence ou la vice-présidence de la Commission d'études n°7 de l'UIT-R sur les services scientifiques (opérations spatiales, recherche spatiale, exploration de la Terre et météorologie, services inter-satellites, systèmes de télédétection, opérations depuis des plateformes terrestres et spatiales, radioastronomie, diffusion, réception et coordination de fréquences étalon et de signaux horaires, y compris l'application de techniques satellitaires à échelle mondiale). Enfin, le CNES s'investit également auprès de l'UIT-D, le secteur Développement de l'UIT, où il est responsable des questions liées aux TIC et au changement climatique.

Ligne directrice A.5 - Renforcement de la pratique concernant l'immatriculation des objets spatiaux

22. Le 17 décembre 1975, la France a signé la Convention sur l'immatriculation des objets lancés dans l'espace extra-atmosphérique et a transposé cette exigence dans son droit national le 3 juin 2008. La loi définit les conditions applicables à l'enregistrement des objets spatiaux et les informations nécessaires à leur immatriculation. Le CNES est responsable de la tenue du Registre National et envoie un rapport annuel au Ministère de l'Europe et des Affaires étrangères ainsi qu'au Bureau des affaires spatiales de l'ONU et fournit, si nécessaire, les notifications en cas de changement de propriété nationale des objets spatiaux.

B. Sécurité des opérations spatiales

Ligne directrice B.1 - Communication de coordonnées actualisées et partage d'informations relatives aux objets spatiaux et événements orbitaux

23. Le centre de connaissance de la situation spatiale (Space Situation Awareness - SSA) du CNES est placé sous la responsabilité du bureau de connaissance de la situation spatiale et fournit les services SSA à des fins de sécurité, sûreté et viabilité des opérations spatiales. C'est dans cette optique que le centre SSA du CNES fournit un service d'évitement de collision dénommé CAESAR (Conjunction Analysis and Evaluation Service : Alert and Recommendation). Dans le cadre du fonctionnement de CAESAR, le centre SSA du CNES dialogue avec ses partenaires européens et internationaux grâce aux plateformes prévues à cet effet (par ex : <http://www.space-track.org>) afin de communiquer au plus grand nombre les coordonnées des interlocuteurs à joindre au cas où le satellite d'un tiers risquerait d'entrer en collision avec un des satellites surveillés par CAESAR.
24. Le service d'évitement de collision CAESAR, fourni par le centre SSA du CNES, protège actuellement plus de 240 satellites du risque de collision. Ces satellites, situés de l'orbite basse (LEO) jusqu'à l'orbite géostationnaire (GEO), sont surveillés 24 heures sur 24, 7 jours sur 7, 365 jours par an. Cette surveillance ininterrompue permet au centre de la SSA de prendre les mesures nécessaires lorsque le risque de collision est supérieur au seuil de sécurité établi avec le propriétaire ou l'opérateur du satellite.
25. Le centre SSA élabore et actualise un catalogue qui couvre les orbites basse et géostationnaire en fusionnant les données issues des capteurs de surveillance de l'espace et de suivi des objets en orbite (SST), des fournisseurs commerciaux de données et des partenaires européens du CNES. Pour ce faire, le centre SSA du CNES s'appuie sur le programme de SST de l'Union européenne, qui permet de partager quotidiennement près d'un million de mesures issues de 50 capteurs (radars, télescopes, lasers) répartis sur l'ensemble de la planète. Ainsi, il est possible d'atténuer le risque de collision entre les satellites protégés par CAESAR et ceux répertoriés dans le catalogue. Ces données permettent également de réaliser des analyses, d'élaborer des plans prévisionnels et de communiquer avec les autorités nationales lorsqu'un objet en rentrée atmosphérique constitue une menace pour la population au sol (par exemple, le calcul de la probabilité d'accidents au sol) ou pour l'environnement (par exemple, dans le cas d'objets contenant des matières dangereuses).
26. Le centre SSA du CNES est responsable du réseau TAROT de télescopes électro-optiques, propriété du CNRS (Centre national de la recherche scientifique), qui permet d'observer la population orbitale et

d'épauler les opérateurs d'engins spatiaux en cas de détection d'anomalies en orbite. Le réseau TAROT et sa chaîne de traitement de données, OSMOSE, développée et sous propriété du CNES dans le cadre de sa mission de SSA, permettent de détecter et de caractériser les fragments en orbite afin de pouvoir déterminer la cause de la fragmentation et de mettre à jour le catalogue orbital, pour, in fine, atténuer les répercussions des fragmentations sur les autres engins spatiaux.



Figure 1 : Fragmentation en orbite TAROT, exploité par le CNES dans le

géostationnaire observée par le réseau cadre de sa mission de SSA

27. Le service d'évitement de collision CAESAR surveille actuellement 240 satellites et les protège du risque de collision en orbite basse jusqu'à géostationnaire. Il est capable de générer des messages de rapprochement (Collision data message - CDM) à partir des données du catalogue orbital du centre SSA du CNES. En outre, les renseignements partagés dans le cadre des accords bilatéraux signés avec les États-Unis (18ème escadron spatial) ainsi qu'avec les propriétaires et les opérateurs de satellites alimentent les messages de données de conjonction (par exemple, les plans de manœuvre orbitale). Ces renseignements permettent d'évaluer le risque de collision pesant sur les satellites surveillés et de fournir aux propriétaires ou aux opérateurs des satellites un éventail détaillé des solutions visant à atténuer le risque de conjonction.

Ligne directrice B.2 - Amélioration de la précision des données orbitales relatives aux objets spatiaux et renforcement de la pratique et de l'utilité du partage d'informations orbitales sur les objets spatiaux

28. Depuis plusieurs années, le Bureau SSA du CNES dispose d'un ambitieux plan de recherche et de développement (R&D). Ce dernier permet de développer de nouvelles techniques afin d'améliorer la sécurité et la sûreté des opérations spatiales en augmentant la précision et l'exactitude des données orbitales. C'est dans ce but que le CNES travaille au développement de nouvelles technologies d'observation en collaboration avec l'industrie européenne : détection passive de radiofréquences afin de caractériser les satellites depuis l'orbite basse jusqu'à l'orbite géostationnaire (SAFRAN), observation et surveillance de l'orbite basse grâce aux télescopes électro-optiques et aux systèmes de radars (Ariane Group et Share my Space), mission de surveillance depuis l'espace permettant de combler les lacunes des systèmes de SSA depuis le sol (Thales Alenia Space et Airbus Defense and Space) et observation de jour et de nuit grâce aux lasers et aux télescopes électro-optiques (Ariane Group).

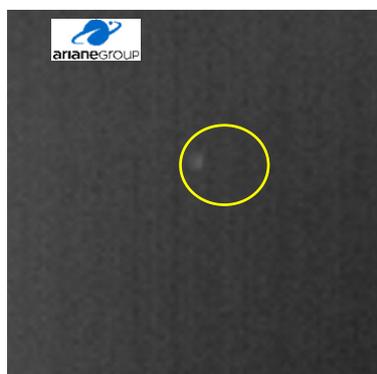


Figure 2 : Démonstration d'observation infrarouge de jour grâce au télescope d'Ariane Group développé dans le cadre des activités de R&D du CNES

29. Le plan R&D fournit également un cadre propice au développement de nouvelles méthodes de traitement de données et de nouveaux algorithmes qui améliorent la sécurité et la sûreté des opérations spatiales en fusionnant les données orbitales disponibles et en améliorant la représentation de l'incertitude de position. Certaines études menées dans ce cadre ont permis de réunir les mesures radar, optiques, laser, et détection passive des radiofréquences afin d'optimiser la précision et l'exactitude des solutions orbitales, d'améliorer notre capacité à tracer et conserver des objets en orbite dans le catalogue mais aussi d'améliorer le réalisme de l'incertitude de position, une donnée indispensable dans le calcul des probabilités significatives de collision servant à fournir un service d'évitement efficace.

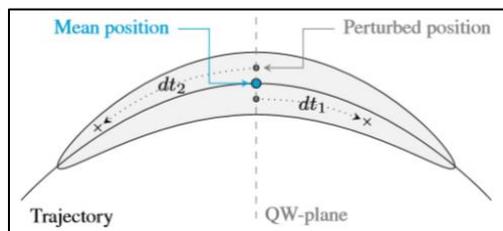


Figure 3 : Développement de cadres de référence alternatifs afin d'améliorer le réalisme de l'incertitude de position (Laurens S. et al. *Towards the maintenance of Gaussianity on state vector uncertainty representation*, 69th IAC, 2018)

30. Tous les jours, le centre SSA du CNES fusionne les données générées par des dizaines de capteurs exploités à échelle nationale, ou, grâce à la coopération internationale, à échelle régionale, afin d'élaborer un catalogue orbital de la plus haute précision et exactitude.
31. Depuis maintenant plusieurs années, le centre SSA du CNES développe une capacité d'évaluation des performances d'un réseau de surveillance et de suivi donné en se penchant sur sa capacité à détecter, cataloguer et fournir un service aux propriétaires ou opérateurs de satellites (BAS3E1). Cette évaluation est ensuite appliquée à l'échelle nationale et internationale afin d'analyser les résultats d'un système pour ensuite réfléchir aux améliorations susceptibles d'être apportées sur un capteur, un système de traitement de données ou un service. Le but est d'améliorer les performances globales du système et de les optimiser à chaque mise à niveau du système.

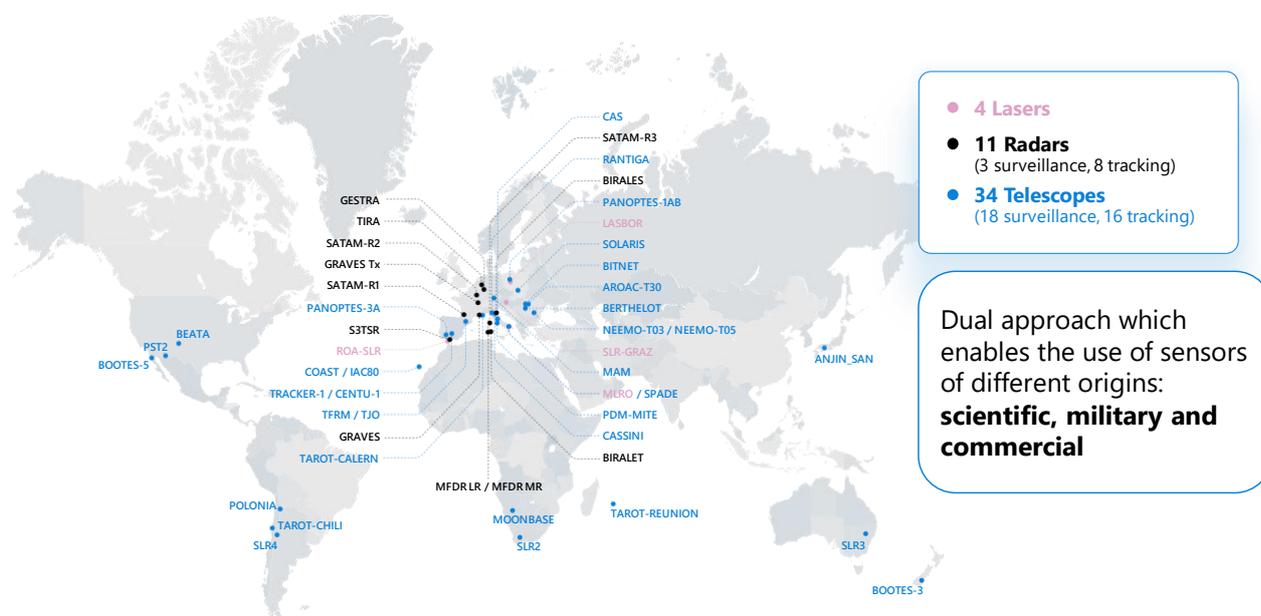


Figure 4 : Le réseau de SST de l'Union européenne en 2021. Les équipes du CNES réalisent une évaluation des résultats de ce réseau et sélectionnent les améliorations présentant le meilleur rapport qualité prix

32. En tant que chef de file de l'équipe d'experts « System Evolution » de l'UE, le bureau SSA du CNES coordonne un plan de R&D ambitieux qui réunit actuellement sept États membres, représentés par leur par

leur entité spatiale désignée². Le but de cette collaboration internationale est d'améliorer la précision et l'exactitude des solutions orbitales proposées.

33. La France est un membre actif de l'ISO (Organisation internationale de normalisation), de l'ECSS (Coopération européenne pour la normalisation spatiale) et du CCSDS (Comité Consultatif pour les Systèmes de Données Spatiales). Ces organisations œuvrent au développement de normes communes dans le domaine du partage des données et de l'information. Leur travail participe à l'amélioration de l'interopérabilité des systèmes de SSA et l'élaboration de bonnes pratiques de calcul et d'opération basées sur la coopération en vue de garantir la sécurité, la sûreté et la viabilité des opérations spatiales.

Ligne directrice B.3 - Promotion de la collecte, du partage et de la diffusion des données de suivi des débris spatiaux

34. La France a développé un tissu dense d'acteurs gouvernementaux, militaires et civils, capables de détecter, de mesurer et de cataloguer la population orbitale au moyen de technologies variées. Parmi elles, il convient de citer les capteurs passifs de radiofréquences (SAFRAN), les capteurs optiques d'observation des orbites basse à géostationnaire, de jour comme de nuit (CNRS, ArianeGroup, Share My Space), les capteurs radars (ONERA, Thales) ainsi que les systèmes d'optique adaptative permettant d'augmenter la résolution des images d'observation de la population orbitale (ONERA et CNRS).

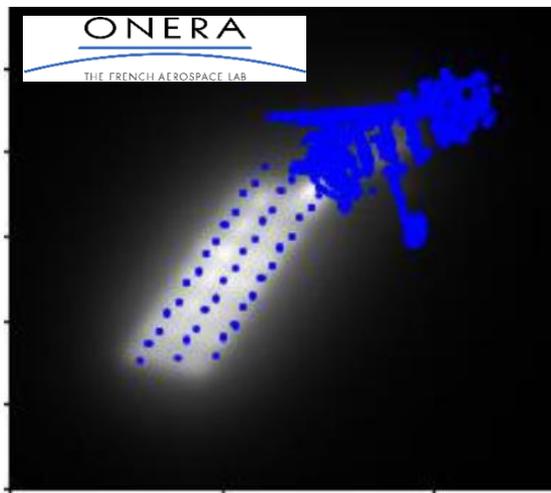


Figure 5 : Observation d'Envisat à l'aide de l'optique adaptative. Un masque est appliqué sur l'image afin d'estimer le changement d'attitude de l'objet.

35. Le CNES et le Ministère des Armées sont membres du service de SST de l'Union européenne, organisation qui compte également six autres États membres. Le travail de coopération et de service qui y est réalisé permet de rassembler des données d'une cinquantaine de capteurs et de rassembler environ un million de mesures au quotidien. Grâce à ces mesures, le Centre SSA du CNES élabore et tient à jour un catalogue couvrant les orbites basses à géostationnaire.

² La France (CNES), l'Allemagne (DLR), l'Italie (ASI), la Pologne (POLSA), le Portugal (PT MoD), la Roumanie (ROSA) et l'Espagne (CDTI)

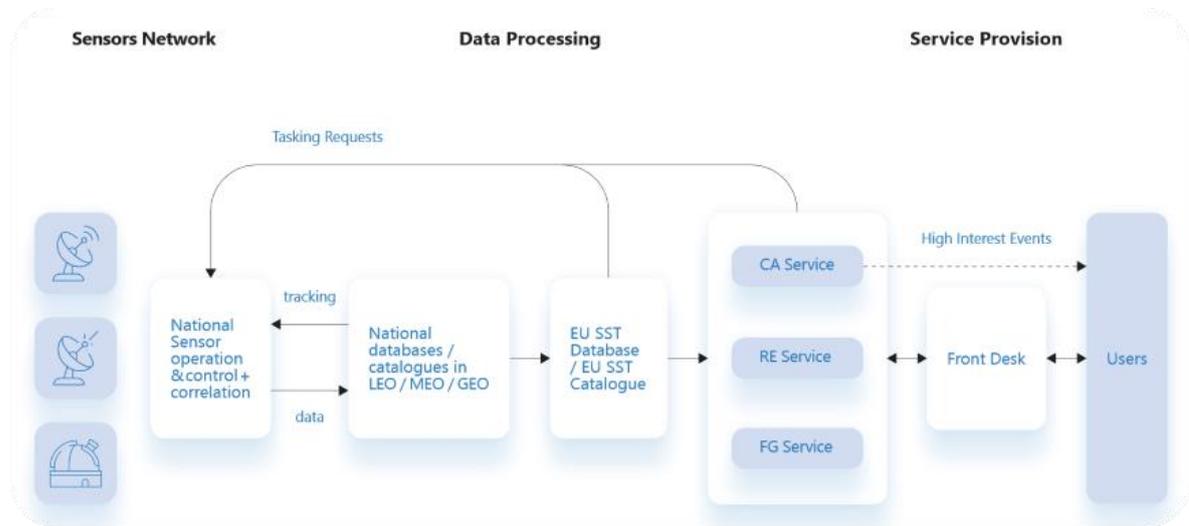


Figure 6 : Le modèle de service de SST de l'Union européenne : les capteurs des États membres alimentent la base de données commune de l'UE.

36. Le CNES a mis au point un détecteur embarqué afin de détecter et de caractériser les débris spatiaux inférieurs à un centimètre. Les connaissances ainsi acquises participeront à l'amélioration du modèle d'observation des débris non traçables. Les données recueillies sont précieuses puisqu'elles permettent d'évaluer les dommages causés aux satellites par la population orbitale non traçable pour ensuite développer des technologies passives de protection des satellites.
37. En tant que membre de l'IADC (Comité inter-agence de coordination des débris spatiaux), le CNES participe activement à la création d'activités de modélisation afin de prévoir l'évolution de la population orbitale au cours des décennies et des siècles à venir. Dans le cadre de ces activités, des comparaisons sont effectuées entre les modèles évolutionnaires français MEDEE (Modelling the Evolution of Debris on the Earth Environment) et les modèles utilisés par les autres États membres afin de faire ressortir les meilleures pratiques dans les domaines des méthodes de calcul et d'élaboration d'hypothèses sur l'évolution de la population orbitale.

Ligne directrice B.4 - Réalisation d'évaluations des conjonctions pendant toutes les phases orbitales des vols contrôlés

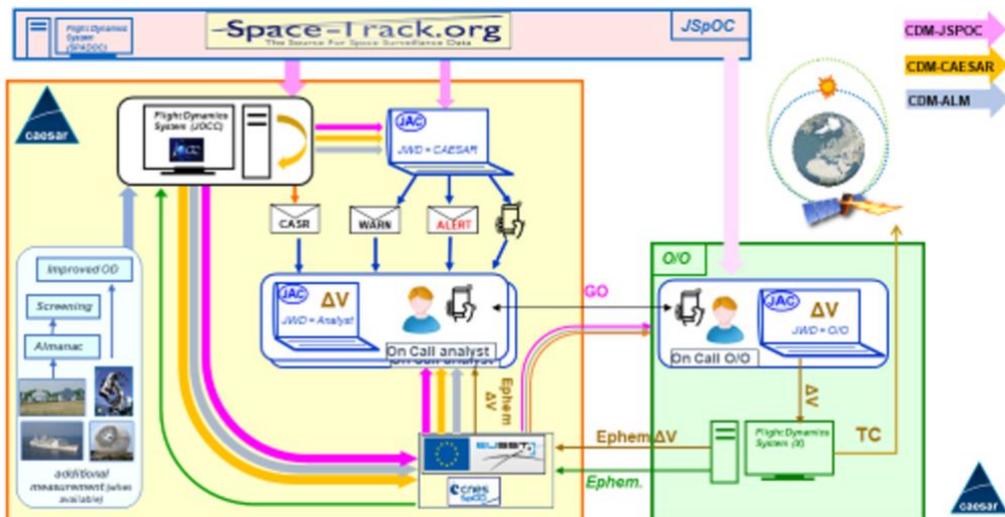


Figure 7 : Schéma du service français CAESAR, qui protège plus de 240 satellites du risque de collision, de leur mise en orbite jusqu'à leur fin de vie.

38. Le service d'évitement de collision CAESAR agit en tant que *middle man* : il centralise les informations générées par plusieurs sources (18^{ème} escadron spatial, catalogues nationaux, propriétaires ou opérateurs) afin d'évaluer le risque de collision pour un engin spatial sous surveillance. La centralisation de toutes les informations recueillies par CAESAR lui permet de tenir compte des manœuvres orbitales en cours ou

prévues dans son processus d'analyse de risque pour ensuite travailler en étroite collaboration avec le propriétaire ou l'opérateur du satellite à l'optimisation du plan de manœuvre (par exemple, adaptation de la manœuvre de maintien de position orbitale ou manœuvre spécifique destinée à éviter une collision) et de ramener le risque de collision à un niveau acceptable (par exemple, 10^{-4}).

39. CAESAR travaille en étroite collaboration avec les fournisseurs de données recueillies grâce aux capteurs. CAESAR envoie une demande de mission en cas de risque de collision supérieur au seuil défini avec le propriétaire ou l'opérateur du satellite. Suite à cet envoi, le calcul de l'orbite des objets impliqués dans la conjonction est affiné afin d'améliorer l'évaluation du risque de collision, plus particulièrement lorsqu'un des objets en question est non-manœuvrable.



Figure 8 : Liste des satellites protégés contre le risque de collision par le service de SST de l'UE (février 2022)

40. Le service d'évitement de collision CAESAR utilise les plateformes regroupant les coordonnées des propriétaires et des opérateurs de satellites (par exemple, <http://www.space-track.org>) afin d'accompagner les opérateurs d'objets manœuvrables lorsque la probabilité de risque de collision est supérieure au seuil préétabli.
41. Le Bureau SSA du CNES a déployé le service CAESAR en 2016 dans le cadre du service d'évitement de collision de SST de l'Union européenne. Le service de SST et de prévention de collisions de l'Union européenne est assuré en redondance active par les centres opérationnels français et espagnol et il est fourni à titre gracieux aux propriétaires et aux opérateurs européens. Ce service est assuré 24 heures sur 24, 7 jours sur 7, 365 jours par an. En vertu du programme spatial pour la période 2021-2027 élaboré par le Conseil de l'UE et le Parlement européen et formellement adopté en avril 2021, le service de prévention de collisions et de SST de l'Union européenne sera bientôt accessible aux propriétaires et aux opérateurs de satellites établis hors de l'Union européenne.
42. Dans le cadre de leur mission d'évitement de collisions et de SST, les services opérationnels français et espagnol améliorent l'harmonisation de leurs systèmes en partageant leurs approches de calcul et leurs meilleures pratiques en matière d'évaluation du risque de collision.
43. Tous les deux ans, le Bureau SSA du CNES organise un atelier international sur le thème de l'évitement de collisions qui regroupe des experts et des opérateurs du monde entier. C'est une rencontre permettant aux professionnels du secteur de partager leurs meilleures pratiques, leurs approches opérationnelles et leur expérience.
44. Le Bureau SSA du CNES propose également une formation à l'évaluation du risque de collision (<https://amostech.com/short-courses>) en collaboration avec le programme CARA (Conjunction Assessment and Risk Analysis) de la NASA dans le cadre de la conférence de surveillance spatiale AMOS.

Cette formation est destinée aux professionnels et aux opérateurs. Il se divise en trois modules : Le premier module présente les notions théoriques sur lesquelles se base l'activité d'analyse et d'évaluation des risques de conjonction. Le deuxième porte sur les pratiques modernes d'évaluation du risque de collision. Enfin, le troisième module traite défis techniques et politiques émergents en matière d'évaluation de risque de conjonction.

Ligne directrice B.5 - Mise au point d'approches pratiques concernant l'évaluation des conjonctions préalable au lancement

45. Conformément à la réglementation technique de la LOS, tous les lancements effectués sur le sol français doivent être précédés d'une évaluation de risque de conjonction afin que leur trajectoire évite les vols et les stations habités (par exemple, l'ISS ou le module Tianhe). Cette disposition a pour but la protection des êtres humains en orbite avant que les objets lancés ne soient répertoriés et intégrés au processus de traçage et de prévention des collisions pour les objets en orbite.
46. Le CNES a mis au point ARCL (Collisions Risk Assessment at Launch), un outil d'évaluation du risque de collision entre chaque objet lancé et tous les objets spatiaux habités, comme l'ISS, pendant les phases de lancement et de rentrée atmosphérique. Le risque est calculé pendant la campagne de lancement et le calcul est ajusté jusqu'à trois jours après la mise en orbite de l'objet lancé. Cette période de trois jours garantit que les calculs sont actualisés jusqu'à l'inscription de l'objet lancé sur le catalogue. ARCL est aujourd'hui opérationnel et il est utilisé depuis 2010. Pour chaque lancement réalisé depuis Kourou, en Guyane, un calcul spécifique est réalisé afin d'établir les fenêtres de lancement permettant d'éviter les collisions.
47. En plus de dix ans d'utilisation, ARCL a calculé plusieurs risques menant à une fermeture de créneau sur des missions Ariane 5. Les répercussions opérationnelles sont minimales puisqu'elles se limitent à quelques secondes au sein d'une fenêtre de lancement (la durée moyenne d'une fenêtre de lancement est d'une heure). Aucun lancement n'a été reporté. ARCL contribue donc à l'amélioration de la sécurité des activités humaines dans l'espace et ne cause que des perturbations négligeables pour les lanceurs à Kourou.
48. Le Code de Conduite de La Haye contre la prolifération des missiles balistiques (HCOB) est un instrument multilatéral à vocation de transparence et de confiance en matière de lutte contre la prolifération balistique. Les États signataires s'engagent de manière volontaire à fournir des notifications préalables aux lancements de missiles balistiques et de lanceurs spatiaux ainsi que dans le cas de vols d'essai. Les États signataires s'engagent également à soumettre une déclaration annuelle de présentation de leur politique nationale en matière de missiles balistiques et de véhicules spatiaux.
49. Le 18 décembre 2017, le Conseil de l'UE a réitéré son soutien au Code de Conduite dans le cadre de la mise en œuvre de la stratégie européenne contre la prolifération des armes de destruction massive (ADM) dans sa décision 2017/2370/CFSP. Ce soutien a été renouvelé en novembre 2021 au moyen de la décision 2021/2074/CFSP. La Fondation pour la Recherche Stratégique (FRS), un groupe d'expertise basé à Paris, appuie également ces efforts au moyen d'un projet de sensibilisation de l'opinion aux risques que représente la prolifération des missiles balistiques. Plus généralement, tous les pays et toutes les populations ont un bénéfice à tirer de la mise en œuvre élargie des mesures de transparence et de confiance énoncées dans le Code de Conduite. A l'occasion de son vingtième anniversaire en 2022, une initiative franco-néerlandaise défendra le rôle du Code de Conduite dans le cadre des mesures de non-prolifération afin de convaincre les États non signataires d'adhérer aux principes du texte pour renforcer son action.
50. Les objectifs prioritaires de ces activités sont la sensibilisation de l'opinion sur la menace que représente la prolifération de missiles balistiques, l'amélioration de l'efficacité des instruments multilatéraux et l'accompagnement des pays souhaitant renforcer le contrôle de leur régime d'exportation tout en améliorant le partage d'informations pertinentes. Concrètement, le but de ces efforts est de sensibiliser les responsables au respect des articles du Code de Conduite ainsi qu'aux exigences liées à l'adhésion à celui-ci, comme l'envoi de notifications préalables aux lancements de missiles balistiques et de lanceurs spatiaux. Les responsables sont donc informés des obligations auxquelles les pays signataires doivent se soumettre ainsi que de la procédure d'adhésion au Code de Conduite, mais aussi des opérations réalisées au quotidien ainsi que de différents moyens de prendre en compte cette adhésion dans une stratégie

nationale de non-prolifération. Enfin, ces activités visent également à inciter au débat sur le Code de Conduite et sur ses améliorations potentielles permettant de réduire le risque posé par les missiles.

Ligne directrice B.6 - Partage de données et de prévisions opérationnelles de météorologie de l'espace & Ligne directrice B.7 - Élaboration de modèles et d'outils de météorologie de l'espace et collecte de pratiques établies d'atténuation des effets de la météorologie de l'espace

51. En France, le groupe de coordination nationale en météorologie de l'espace (GCME³) a été créé sous la tutelle du CNES. Il rassemble plus de trente experts issus de différents instituts et d'agences gouvernementales tels que le CEA⁴, le CNES⁵, le CNRS⁶, CLS⁷, la DGAC⁸, la DSNA⁹, l'ESSP¹⁰, Météo France, le Ministère des Armées (le CDE¹¹ et la DGA¹²), le Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, l'Observatoire de Paris (LESIA¹³), l'ONERA¹⁴, l'Université de Strasbourg et l'Académie de l'air et de l'espace. Le GCME a pour but de coordonner les mesures à échelle nationale, européenne et internationale, de fournir une évaluation dans quatre domaines (la défense, l'espace, l'aviation civile et les infrastructures technologiques terrestres) ainsi que de promouvoir le partage d'informations sur les événements météorologiques spatiaux (analyses post-événement). Enfin, la communauté scientifique française collabore également au sein de l'OFRAME¹⁵, qui envoie des rapports réguliers au GCME.

52. A l'échelle nationale :

- (a) Le Ministère des Armées développe actuellement un système pré-opérationnel de collecte et d'analyse de données de météorologie spatiale pour les forces armées. Il représente également la France au sein de groupes de travail de l'OTAN consacrés à la définition de normes de météorologie spatiale à des fins opérationnelles.
- (b) Au cours des vingt dernières années, avec l'appui du CNES, l'ONERA a acquis une expertise considérable en matière de rayonnements ionisants. Il a notamment développé des applications avancées tel qu'un système de prévision immédiate des particules situées dans l'environnement spatial terrestre au moyen de techniques d'assimilation de données qui combinent de manière optimale modélisations physiques et mesures réalisées in situ. Ces mesures in situ, réalisées par le CNES et l'Agence Spatiale Européenne, mais aussi par l'ONERA, la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), la NASA ou la JAXA, l'agence spatiale japonaise, et partagées au titre de la coopération internationale, constituent la base de données sur le rayonnement la plus complète à l'échelle internationale. Les produits finis issus de ces données sont fournis à l'industrie spatiale, qui s'en sert notamment dans la conception de satellites et l'exploitation d'engins spatiaux. Dans le cadre du programme de sécurité de l'Agence Spatiale Européenne et du programme de l'UE de R&D Horizon 2020, de nouveaux prototypes de services de météorologie spatiale sont actuellement en cours de développement. En outre, l'ONERA a mis au point des modèles de prévision des répercussions de la météorologie spatiale sur la propagation ionosphérique des ondes radioélectriques, et par conséquent, sur les performances des systèmes GNSS. Ces modèles ont été communiqués au CNES, à l'Agence Spatiale Européenne et au Ministère des Armées.
- (c) La société française CLS travaille dans le domaine de la météorologie spatiale depuis vingt ans. Grâce aux travaux menés de concert avec l'Observatoire de Paris et l'ONERA, CLS fournit à Arianespace les prévisions en matière d'exposition aux particules solaires à haute énergie avant chaque lancement. CLS assure également l'exploitation d'un modèle d'étude des rayonnements depuis l'Observatoire de

³ Groupe de Coordination nationale en Météorologie de l'Espace

⁴ Commissariat à l'Énergie Atomique et aux énergies alternatives

⁵ Centre National d'Études Spatiales

⁶ Centre National de la Recherche Scientifique

⁷ Collecte Localisation Satellites

⁸ Direction Générale de l'Aviation Civile

⁹ Direction des Services de la Navigation Aérienne

¹⁰ European Satellite Services Provider

¹¹ Commandement de l'Espace

¹² Direction Générale de l'Armement

¹³ Laboratoire d'Études Spatiales et d'Instrumentation en Astrophysique

¹⁴ Office National d'Études et de Recherches Aérospatiales

¹⁵ Organisation française pour la recherche appliquée en météorologie de l'espace

Paris pour le service de météorologie spatiale de l'OACI. CLS fournit un bulletin quotidien sur le rayonnement solaire qui livre les prévisions des variations de l'indice F30 (flux radio émis à 30 cm) sur une période de 30 jours grâce aux mesures réalisées par le radiotélescope de l'observatoire de Nobeyama, qui utilise des techniques de réseaux neuronaux. Ce service est réalisé grâce au soutien du CNES et du LPC2E (Laboratoire de Physique et de Chimie de l'Environnement et de l'Espace). Enfin, CLS a acquis une expertise significative en matière de prévision immédiate de scintillation ionosphérique basée sur les données du système GNSS. La société fournit également des cartographies de scintillation à l'OACI.

- (d) L'Observatoire de Paris coopère avec l'Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire (IRSN) pour surveiller les doses de radiation auxquelles sont exposés les équipages de l'aviation civile et fournit à l'OACI un soutien opérationnel au moyen d'un service de météorologie spatiale en temps réel. L'Observatoire de Paris assure l'observation du Soleil en temps quasi réel (lumière visible et ondes radio) grâce à la station de Nançay. Les résultats de ces observations sont fournis au système d'alerte du projet FEDOME de l'Armée de l'Air.
 - (e) En outre, l'IRAP assure un service de surveillance du soleil grâce au service CLIMSO, qui utilise les instruments d'observation optique d'observation solaire de l'observatoire du Pic du Midi et qui jouit du soutien d'un projet scientifique citoyen et d'une société privée.
 - (f) La communauté des chercheurs français développe une large gamme d'outils de météorologie spatiale disponible sur le site de l'OFRAME (<http://meteo-espace.irap.omp.eu/>). L'OFRAME collationne et communique en continu les données de surveillance concernant les ceintures de radiation (CRATERRE), l'environnement radiatif (CERCLE), l'activité géomagnétique (ISGI) et les prévisions de vents solaires ainsi que les liens entre l'environnement spatial de la Terre et le soleil (STORMS).
 - (g) L'ESSP¹⁶, dont la principale activité est l'exploitation du système EGNOS, fournit également des services de météorologie spatiale. ESSP assure le service de météorologie spatiale via positionnement par satellite pour l'OACI depuis 2019. ESSP fait également partie du consortium international TechTIDE, créé dans le but d'étudier les perturbations ionosphériques itinérantes (TID) et leurs répercussions potentielles sur l'aviation ainsi que sur le système EGNOS.
53. A l'échelle européenne, la France soutient la création d'un service de météorologie spatiale pré-opérationnel ainsi que des services associés dans la cadre du volet de météorologie spatiale du programme de sécurité spatiale de l'Agence Spatiale Européenne. Parmi ces services, auxquels a participé la communauté de recherche française, citons le Centre virtuel de modélisation de météorologie spatiale (VSWMC : <https://esa-vswmc.eu/>) et le Réseau du service de météorologie spatiale (<https://swe.ssa.esa.int/current-space-weather>). Ces plateformes constituent un environnement virtuel d'accès aux modélisations du système Terre-Soleil de l'Agence Spatiale Européenne. La France est également favorable à un transfert futur d'un système opérationnel fournissant des services de météorologie spatiale aux utilisateurs de l'Union européenne.
54. A l'échelle internationale, la France préconise une amélioration de la définition et de la caractérisation des événements extrêmes de météorologie spatiale ainsi que les prévisions de ces derniers, mais aussi une meilleure connaissance de leurs conséquences sur les technologies, notamment sur les avions et sur les véhicules spatiaux. Cette amélioration doit se faire à l'échelle internationale.
55. La France, sous l'égide de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) et en tant que membre du consortium ACFJ, avec l'Australie, le Canada et le Japon, est un des principaux fournisseurs de météorologie spatiale pour l'aviation internationale. La France offre ses services grâce au consortium SPECTRA, qui rassemble trois sociétés, CLS, ESSP et Météo-France, sous la supervision de la DGAC. Actuellement, les services fournis sont des avis de météorologie spatiale, diffusés mondialement aux parties prenantes de l'aviation via des canaux spécifiques au secteur de l'aviation. Ils ne sont pas accessibles au grand public.

¹⁶ European Satellite Services Provider

56. Certains ensembles de données météorologiques spatiales pertinentes recueillies par des institutions françaises sont mis à la disposition du public :
- (a) Les mesures spatiales du Soleil, de l'espace interplanétaire et de la magnétosphère (IRAP, LPC2E, LESIA, LPP) - <http://www.cdpp.eu>
 - (b) La surveillance depuis l'espace de l'atmosphère du Soleil (IAS) - MEDOC <https://idoc.ias.u-psud.fr/MEDOC>
 - (c) La surveillance du soleil depuis le sol (Observatoire de Paris, Observatoire de la Côte d'Azur, IRAP Observatoire du Pic du Midi) par radiotélescopes optiques (stations de Nançay et de l'Observatoire de Paris) - <http://bass2000.obspm.fr/>, <https://rsdb.obs-nancay.fr/>, <http://secchirh.obspm.fr/index.php>, <https://climso.fr/accueil>
 - (d) Surveillance du rayonnement solaire cosmique et galactique grâce aux moniteurs à neutrons (Observatoire de Paris avec le projet IPEV) - www.nmdb.eu
 - (e) Surveillance de l'atmosphère supérieure de la Terre grâce au SuperDARN (« Super réseau de radars dual auroral ») - <http://vt.superdarn.org> - et à observatoire des îles Kerguelen (IRAP)
 - (f) Base de données des perturbations ionosphériques itinérantes (TID) en temps réel et accès aux archives via TechTIDE - <http://www.tech-tide.eu>

Ligne directrice B.8 - Conception et exploitation d'objets spatiaux indépendamment de leurs caractéristiques physiques et opérationnelles

57. En France, le satellite MICROSCOPE (Micro Satellite à trainée Compensée pour l'Observation du Principe d'Équivalence) intègre un système de réduction des débris dès sa conception. Par conséquent, sa conception est conforme à la réglementation sans porter préjudice aux résultats scientifiques de la mission, à son coût ou à son calendrier. Il est équipé du système de désorbitation IDEAS (Innovative DEorbiting Aerobrake System), composé de deux structures identiques gonflables actionnées au moment de la rentrée atmosphérique. Grâce à ce système, la durée de vie en orbite du satellite a été réduite de 34 ans, ce qui constitue une contribution particulièrement précieuse en matière de viabilité de l'espace.

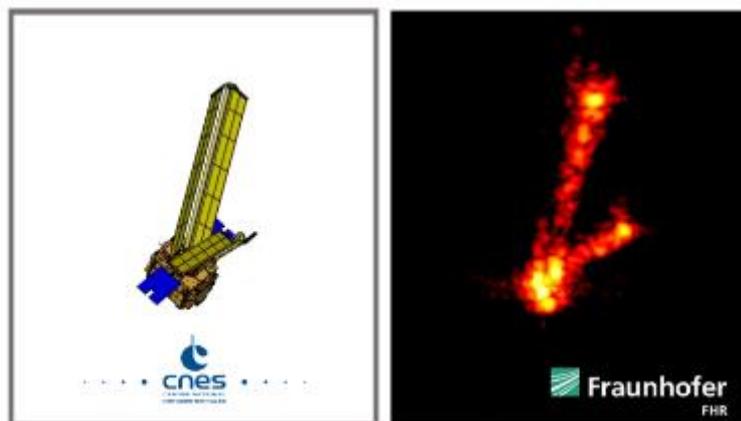


Figure 9 : Image de MICROSCOPE (TIRA) après le déploiement du système d'aérofreinage IDEAS.

Ligne directrice B.9 - Mesures à prendre pour faire face aux risques associés à la rentrée atmosphérique incontrôlée d'objets spatiaux

58. Le Bureau SSA du CNES a instauré un accord de coopération bilatéral de partage d'information portant sur les données en matière de rentrée atmosphérique des objets spatiaux présentant un risque pour les populations au sol ou pour l'environnement. Le Bureau SSA du CNES, en étroite collaboration avec l'Armée de l'Air et de l'Espace, partage ses données sur les objets spatiaux en phase de rentrée atmosphérique avec ses partenaires internationaux et définit les fenêtres de rentrée atmosphérique.

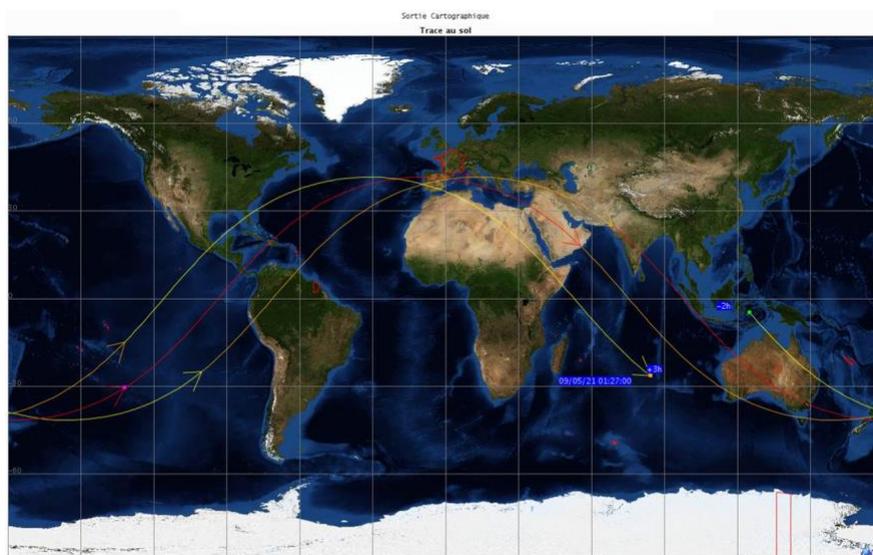


Figure 10 : Exemple de prévision d'une fenêtre de rentrée atmosphérique pour CZ-5B R/B (COSPAR ID 2021-035B), objet dont le poids estimé est de 20 tonnes. Calcul basé sur des données d'observation françaises et américaines recueillies grâce aux accords bilatéraux de partage de données.

59. En tant que membre de l'IADC (Comité inter-agence de coordination des débris spatiaux), la France participe aux exercices quotidiens de rentrée atmosphérique dont les objectifs sont le partage de meilleures pratiques et l'identification de domaines communs d'amélioration potentielle en matière de calcul de fenêtre de rentrée atmosphérique d'objets incontrôlés.
60. Le Bureau SSA du CNES et le Centre Opérationnel de Surveillance Militaire des Objets Spatiaux (COSMOS) surveillent la rentrée atmosphérique des objets spatiaux susceptibles de constituer une menace au sol ou pour l'environnement sur la base de deux horizons temporels. Le premier, appelé prévision de rentrée atmosphérique à moyen terme, offre une prévision à 60 jours des objets susceptibles d'effectuer une rentrée dans l'atmosphère terrestre. La liste de ces objets permet de mettre en place des mesures avec les acteurs nationaux et internationaux en cas de menace. Le second se déroule au cours de la dernière semaine avant la date de rentrée atmosphérique prévue. Des moyens spécifiques d'observation sont consacrés à l'objet en question afin de rassembler les données sur ce dernier et de calculer sa fenêtre de rentrée atmosphérique (Voir figure 10 : Exemple de prévision d'une fenêtre de rentrée atmosphérique pour CZ-5B R/B (COSPAR ID 2021-035B), objet dont le poids estimé est de 20 tonnes. Calcul basé sur des données d'observation françaises et américaines recueillies grâce aux accords bilatéraux de partage de données)

Ligne directrice B.10 - Mesures de précaution à prendre lors de l'utilisation de sources de faisceaux laser traversant l'espace

61. En conjuguant l'expertise du CNES et de l'ONERA dans les domaines de l'orbitographie et de la technologie laser, la France garantit un niveau de sécurité maximal lors de l'utilisation de lasers dont les faisceaux traversent l'espace extra-atmosphérique proche de la Terre.

C. Coopération internationale, renforcement des capacités et sensibilisation

Ligne directrice C.1 - Promotion et facilitation de la coopération internationale aux fins de la viabilité à long terme des activités spatiales

62. La coopération régionale et internationale dans le domaine de la SSA et des débris spatiaux est primordiale et indispensable à la viabilité des opérations spatiales. C'est la clé pour l'amélioration de la précision des données orbitales et le partage des renseignements sur les objets spatiaux en orbite.
63. Au niveau régional, la décision n°541/2014/UE du Parlement européen et du Conseil établit un cadre de soutien à la surveillance de l'espace et au suivi des objets en orbite, que nous appellerons la SST de l'UE. Au sein du cadre financier pluriannuel (CFP) de l'UE pour la période 2021-2027 et suite à l'adoption du

Règlement établissant le programme spatial en avril 2021, la SST est dorénavant une composante à part entière du programme spatial européen. Par conséquent, la France, à travers le CNES et le Ministère des Armées, consacre actuellement ses efforts à la construction progressive d'un nouveau partenariat de SST, qui passerait de 7 États membres (la France, l'Allemagne, l'Italie, l'Espagne, la Pologne, le Portugal et la Roumanie) à 16. La France est soutenue par la Commission européenne dans cette tâche. La France, représentée par le CNES, préside la SST de l'UE depuis 2017 et elle est en première ligne des efforts réalisés afin que ce partenariat soit couronné de succès.

64. Le partenariat en SST de l'UE est un exemple qui illustre à la perfection comment la coopération multilatérale permet de surmonter les défis à la croisée entre la sécurité et la sûreté spatiales. La France soutient le développement de la SST de l'UE dans tous ses domaines de compétence et partage ses objectifs stratégiques :
- (a) Sûreté : La coopération en SST de l'UE s'applique à la sûreté puisque les opérations menées tiennent compte de la dualité du domaine de la SSA et de l'importance de son volet sûreté. Les parties prenantes militaires et de sécurité nationale participent à toutes les décisions relevant de la sûreté au moyen d'un comité dédié responsable des politiques de données et des dispositions en matière de sûreté.
 - (b) Opérations : La coopération en SST de l'UE est opérationnelle 24 heures sur 24, 7 jours sur 7, 365 jours par an. Elle fournit des services de haute qualité (par exemple, prévention des collisions, de rentrée atmosphérique et de fragmentation) afin d'assurer la protection et la résilience des infrastructures spatiales, notamment des fleurons européens Galileo et Copernicus, mais aussi d'éviter les collisions spatiales, de prévenir la prolifération de débris spatiaux pour, in fine, contribuer à la viabilité à long terme des activités spatiales. Aujourd'hui, 243 satellites sont inscrits au programme d'évitement de collisions et plus de 130 organisations bénéficient des services de SST de l'UE.
 - (c) Concernant l'avenir de son partenariat en SST, l'UE envisage de mettre en place de nouveaux services publics généraux visant à améliorer la coordination du trafic spatial et à assurer la sécurité des opérations spatiales (plateforme de coordination, réduction des débris et mesures correctives, prévention du brouillage des radiofréquences).
 - (d) Un programme de R&D de grande envergure a été initié il y a de nombreuses années dans le but de parachever l'autonomie stratégique de l'Europe.
 - (e) La SST de l'UE vise à assumer une partie de la responsabilité mondiale dans le domaine de la SSA et à agir en tant que partenaire fiable et compétent sur la scène internationale.
 - (f) Enfin, la SST de l'UE incite à l'innovation en matière de SSA commerciale et soutient la compétitivité des entrepreneurs, de l'écosystème des grandes entreprises et des start-ups ainsi que de l'industrie spatiale en aval. Elle œuvre au renforcement de l'écosystème de start-ups et de l'économie de services qui découle de la SSA et de ce fait, participe à la consolidation de l'autonomie de l'Europe dans ce domaine.
65. A l'échelle inter-agence, la France participe au Comité inter-agence de coordination des débris spatiaux (IADC) depuis 1996. L'IADC compte 13 membres. La communauté de la défense (Commandement De l'Espace, Direction générale de l'armement et ONERA) fait partie de la délégation française auprès de l'IADC, sous la responsabilité du CNES. Conformément aux définitions énoncées à l'article 1, l'objectif principal de L'IADC est « d'échanger des informations sur les activités de recherche portant sur les débris spatiaux entre les agences spatiales membres, de faciliter les opportunités de coopération dans le domaine de la recherche sur les débris spatiaux, d'examiner les progrès réalisés dans les activités de coopération en cours et d'identifier les options de réduction des débris ». Les activités réalisées par le Groupe de travail 4 de l'IADC sur la réduction des débris ont pour but de « promouvoir et d'améliorer la recherche sur les débris orbitaux par les membres de l'IADC » (article 7). La France réitère sa position, selon laquelle l'IADC devrait seulement soumettre des recommandations techniques à la communauté spatiale internationale sur les options à envisager et ne devrait pas agir en tant qu'organisme de réglementation. La France participe à des activités de détection et de surveillance de débris spatiaux (capteurs optiques et radars), de contrôle du risque lié à la rentrée atmosphérique, de modélisation de l'évolution des débris

spatiaux, de protection des satellites, de réduction des débris et des dangers qu'ils induisent, ainsi qu'aux activités permettant d'éviter la création de débris spatiaux.

Ligne directrice C.2 - Partage de l'expérience acquise en matière de viabilité à long terme des activités spatiales et élaboration, au besoin, de nouvelles procédures de partage d'informations

66. Le CNES s'appuie sur sa longue tradition de partage d'expériences, d'expertise et d'informations relatives à la viabilité à long terme des activités spatiales afin de continuer de poursuivre cet objectif.
67. Tous les deux ans, le CNES organise trois ateliers internationaux à son siège, situé à Paris (Les Halles) :
- (a) L'atelier international sur la modélisation des débris spatiaux et les mesures correctives. Cet atelier permet d'aborder les méthodes innovantes d'évaluation des évolutions à long terme de la population orbitale et les nouvelles approches de réduction et de correction permettant de limiter leur prolifération.
 - (b) L'atelier international sur l'évaluation de conjonctions. Cet événement international réunit les spécialistes mondiaux de l'évaluation des risques de conjonction, un aspect clé de la protection de l'environnement, afin de partager les connaissances et l'expertise dans le but de réduire les risques de collision et de progresser ensemble à l'échelle internationale.
 - (c) L'atelier sur la fin de vie opérationnelle des satellites et sur les technologies durables. L'industrie spatiale et ses acteurs sont invités à présenter leurs technologies et leurs concepts de pointe dans le domaine de l'élimination des satellites en fin de vie et à échanger sur les opportunités de surmonter les défis actuels et à venir. Parmi les sujets évoqués, citons la modélisation de rentrée atmosphérique, la conception tenant compte de l'élimination (D4D, *design for demise*), observation des rentrées atmosphériques, les opérations sur les satellites en fin de vie et les extensions de missions.
68. Les experts du CNES occupent actuellement la présidence de trois comités universitaires spécialisés dans les défis liés à la viabilité à long terme des opérations spatiales. Ces comités sont un lieu d'échange, d'information, d'expertise et d'expérience en la matière.
- (a) Le comité sur les débris spatiaux de l'IAA¹⁷
 - (b) Le comité space security de l'IAF¹⁸
 - (c) Le comité technique de l'IAF sur la gestion du trafic spatial, en coordination avec l'IAA et l'IISL¹⁹
69. Ce dernier comité vise à élaborer des propositions globales afin de promouvoir des utilisations sûres de l'espace extra-atmosphérique qui sont ensuite soumises aux décideurs à l'échelle nationale et internationale. Il réunit 150 experts issus de 24 pays, répartis en 14 groupes de travail thématiques. Ces groupes se penchent sur des domaines précis découlant des 21 lignes directrices en vue de la viabilité à long terme des activités spatiales. Parmi les experts, on compte 14 français, dont 7 du CNES. Quatre d'entre eux président un groupe de travail. Un bilan intermédiaire des progrès réalisés a été présenté lors du Congrès international d'astronautique en 2021 à Dubaï et le rapport final sera disponible lors du prochain congrès, qui se tiendra en 2022 à Paris.

Ligne directrice C.3 - Promotion et renforcement des capacités

70. Le CNES et l'Agence Spatiale Européenne ont été à l'initiative de la Charte internationale « Espace et catastrophes majeure » lors de la troisième Conférence des Nations Unies sur l'exploration et les utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique à Vienne, en juillet 1999. L'ASC (Agence spatiale canadienne) a immédiatement rejoint cette initiative. En septembre 1999, ces trois agences fondatrices ont initié la phase pilote du projet. L'accord de création de la Charte internationale a été signé en 2000.

¹⁷Académie internationale d'astronautique

¹⁸Fédération internationale d'astronautique

¹⁹Institut international du droit de l'espace

Opérationnelle depuis le 1er novembre 2000, la Charte fournit un service en continu, 24 heures sur 24, 7 jours sur 7, accessible gratuitement grâce à un point d'accès unique. Depuis 2000, les satellites offrent une vue d'ensemble des zones touchées par les catastrophes. Leur aide s'est avérée précieuse dans la gestion de crise et dans l'organisation de l'aide apportée suite aux catastrophes majeures. Les agences spatiales mettent à disposition de la Charte leur flotte de satellites (au total, plus de 60 satellites équipés de capteurs optiques et radar). Ensemble, ces satellites ont fourni plus de 8 500 images (optiques et radar) sur les 55 interventions déclenchées en 2020.

71. Le Bureau des affaires spatiales compte actuellement 7 membres qui fournissent leurs données satellitaires à titre gracieux en appui à la réponse d'urgence. Ces données permettent d'établir rapidement une cartographie de la zone touchée. En plus de ces membres, la Charte peut également s'appuyer sur 20 organismes coopératifs dans ses activités de suivi des catastrophes. Lorsqu'un pays n'est pas en mesure d'activer la Charte lui-même, il peut envoyer sa demande à une organisation internationale, par exemple au Bureau des affaires spatiales ou UNOSAT, le centre satellitaire des Nations unies, via UNITAR (l'Institut des Nations unies pour la formation et la recherche), qui comptent parmi les organismes coopératifs de la Charte. En outre, la Charte a signé un accord de coopération avec le service européen Copernicus de Gestion des Urgences (Copernicus EMS) le 20 avril 2018. Bien que la Charte couvre principalement le territoire européen, elle intervient lors de catastrophes dans le monde entier. Par ailleurs, Sentinel Asia est une initiative internationale volontaire de réponse aux catastrophes dans la région Asie-Pacifique, une zone particulièrement touchée par les inondations, les tempêtes, les séismes et les éruptions volcaniques. Sentinel Asia collabore avec la Charte.
72. La France fournit régulièrement des images de ses satellites Pléiades et SPOT. Les images recueillies par les satellites français Pléiades 1A et 1B sont les plus utilisées par la Charte dans l'élaboration de cartes, des outils à haute valeur ajoutée. Presque 30% des cartes incluant des images satellitaires utilisées par la Charte sont élaborées à partir des images de Pléiades. Les segments sol et spatial des satellites Pléiades 1A et 1B ont été conçus pour fournir des données dans un temps record. Ils sont capables d'accéder à tout point du globe et couvrent des zones étendues de manière réactive. Lors du déclenchement de la Charte en août 2021, Pléiades a livré aux autorités locales haïtiennes des images suite à deux événements majeurs : un séisme de magnitude 7.2 le 14 août et le passage de la tempête tropicale Grace les 16 et 17 août. En France, le COGIC (Centre opérationnel de gestion interministérielle des crises) est habilité à activer la Charte au nom de la France ou de tout autre pays. Le CNES participe à l'acquisition d'images satellite et à la création de cartes des sinistres qui peuvent ensuite être envoyées aux personnels de secours. A ce jour, le CNES a occupé la présidence du Bureau de la Charte à six reprises. La présidence change tous les six mois.
73. En tant que membre du Comité sur les satellites d'observation de la Terre (CEOS), le CNES, qui préside le Groupe de travail sur les catastrophes depuis 2021, mène un effort conjoint avec la Banque mondiale, le Comité sur les satellites d'observation de la Terre et l'Union européenne afin d'augmenter l'utilisation des données satellitaires et de leurs produits dérivés en appui de actions de la reconstruction après les catastrophes majeures. Il s'agit d'un complément naturel au travail de la Charte puisque la reconstruction commence lorsque la réponse d'urgence, menée avec le concours de la Charte, se termine. Après un projet pilote de quatre ans, consacré aux efforts de rétablissement suite au passage de l'ouragan Matthew à Haïti en 2016, le CNES et la Banque mondiale ont présenté une proposition d'Observatoire de la reconstruction (*Recovery Observatory*, RO), un projet sur trois ans. Il vise à mettre place, d'ici à 2023, entre trois et cinq RO suite à des catastrophes majeures. Le RO a pour objectif une reconstruction rapide, notamment en s'appuyant sur l'Évaluation des besoins post-catastrophe mise en place dans le cadre de l'accord tripartite, mais aussi en participant à l'ensemble des mesures d'évaluation des dommages et de reconstruction. Le RO soutient également la création d'un cadre de travail pour la reconstruction. A ce jour, suite à un essai à échelle limitée à Beyrouth après l'explosion d'août 2020, le RO a été déclenché à deux reprises : pour les ouragans Eta et Iota au Honduras, au Guatemala et au Nicaragua, et à l'occasion du séisme qui a frappé Haïti en août 2021. Outre les images satellitaires et des produits à valeur ajoutée, le CNES fournit un service de soutien à la gestion d'initiative mondiale et travaille de concert avec les parties prenantes en matière de reconstruction internationale au développement d'une stratégie pour la pérennisation des services de reconstruction basés sur les produits satellitaires. Le RO est un des mécanismes et outils recommandés dans le programme « Espace 2030 » adopté par l'Assemblée générale des Nations unies le

25 octobre 2021. En tant que pionnier du RO au sein du Comité sur les satellites d'observation de la Terre (CEOS), le CNES œuvre à la pérennisation de ce mécanisme.

Ligne directrice C.4 - Sensibilisation aux activités spatiales

74. Le Forum de Paris sur la paix est une initiative française de coopération multilatérale lancée en 2018 par le Président de la République Emmanuel Macron dans le but de créer une plateforme portant sur les défis liés à la gouvernance mondiale. Tout au long de l'année, le Forum œuvre à la consolidation de la gouvernance des biens communs tels que l'espace, le cyberspace ou les océans afin d'améliorer la réponse internationale aux défis mondiaux et de soutenir le développement de l'intelligence artificielle (IA) et des technologies de rupture dans l'accompagnement à la transition écologique et sociale de l'économie. Chaque année, sa conférence rassemble des chefs d'État et de gouvernement, des représentants d'associations de la société civile et des responsables du secteur privé autour d'initiatives concrètes, avec un accent particulier sur les pays du Sud. En 2021, le Forum a mis en place un projet de mobilisation de l'opinion publique et politique pour la protection des orbites terrestres.
75. Avec l'initiative « Net Zero Space », présentée formellement le 12 novembre à l'occasion de la quatrième édition du Forum, des acteurs du monde entier ont pris l'engagement d'assurer une utilisation durable de l'espace d'ici 2030. L'initiative préconise de passer au plus à l'action dès 2021 afin de limiter, puis réduire la pollution de l'environnement orbital de la Terre : (a) en évitant de générer de nouveaux débris spatiaux dangereux et (b) en menant des actions correctives sur les débris spatiaux dangereux existants. Tous les signataires se sont engagés à présenter une (ou plusieurs) mesures concrètes déjà en place ou prévue à court terme dans la poursuite de l'objectif de l'initiative. Tous les acteurs du secteur spatial qui soutiennent la durabilité de l'espace extra-atmosphérique sont encouragés à se joindre à l'initiative « Net Zero Space » du Forum de Paris sur la paix. Cette initiative est la première du genre puisqu'elle réunit un large éventail d'acteurs issus de tous les secteurs (agences spatiales, opérateurs de satellites et de lanceurs privés, monde universitaire, ONG et think tanks) et toutes les régions (les États-Unis, la Chine, l'Europe et les pays du Sud) dans une seule et même coalition.
76. La France compte également, grâce à ses missions spatiales, conserver son rôle de pionnier en matière de développement durable, notamment dans les domaines du changement climatique et de la surveillance de l'eau. A cet égard, la France considère que l'espace est une composante essentielle de la surveillance et de l'atténuation du changement climatique qui aidera les sociétés à s'adapter à ses conséquences. Soulignons que sur les 50 variables climatiques essentielles, 26 d'entre elles ne peuvent être renseignées que depuis l'espace. Les systèmes spatiaux embarqués sont ceux qui fournissent le plus de données pour les modélisations climatiques et leur capacité de prévision ne cesse de s'améliorer. Les données recueillies par ces systèmes, et plus particulièrement les systèmes développés et opérés par la France ou en partenariat avec l'Agence Spatiale Européenne, ont joué un rôle de premier plan à l'occasion de la 21^{ème} Conférence des parties de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques de 2015 (COP21), qui s'est soldée par l'adoption de l'Accord de Paris le 12 décembre 2015, suivi de son entrée en vigueur le 4 novembre 2016. Afin de mettre en œuvre l'Accord de Paris, le CNES a mis en place l'Observatoire Spatial du Climat (*Space Climate Observatory* - SCO). Conçu lors du One Planet Summit, le 12 décembre 2017, le SCO a officiellement vu le jour lors du Salon international de l'aéronautique et de l'espace de Paris, le 17 juin 2019, avec la signature d'une déclaration d'intention en présence du Président de la République Française. Aujourd'hui, 33 agences spatiales et trois organisations des Nations unies (le PNUD, le PNUE et le Bureau des affaires spatiales) sont membres du SCO. Une nouvelle charte, qui étendra la gouvernance et les missions du SCO, doit être approuvée d'ici juin 2022.
77. La France continue d'être profondément investie dans les activités pédagogiques spatiales destinées aux étudiants de tous âges, de l'école primaire à l'enseignement supérieur. Les activités pédagogiques proposées par le CNES portent aussi bien sur la théorie que sur la pratique de la science spatiale. Le CNES privilégie la méthode de l'apprentissage par projet. C'est l'occasion pour les élèves et les étudiants d'utiliser, de valider et d'enrichir leurs connaissances sur des sujets précis dans le cadre d'activités multidisciplinaires autour des lanceurs, des CubeSat, de l'observation de la Terre, de l'exploration, de la microgravité, des télécommunications, de la navigation ou des ballons. Dans le cadre de ces activités, une large gamme d'outils et de ressources pédagogiques sont mis à disposition des participants. Il existe plus de quinze projets et programmes différents. Citons notamment :

- a. PERSEUS propose aux étudiants non seulement de développer des technologies innovantes, mais également de créer des lanceurs, comme SERA4 (longueur : 4m, altitude : 5 km), ARES GUYANE (longueur : 2,7m long, altitude : 2,5 km) ou SERINITY (longueur : 4,8, altitude : 5 km).
- b. Avec NANOLAB ACADEMY, les étudiants développent des systèmes de nanosatellites et des CubeSat complets et opérationnels. Actuellement, sept satellites sont en cours de développement et cinq satellites ont été lancés depuis 2017.
- c. Spaceship FR a pour but la création d'un environnement propice au développement de créneaux technologiques en vue d'explorer la planète Mars via la Lune.
- d. L'initiative PRAGMATIC fournit aux étudiants la cadre nécessaire à l'étude, au développement et à l'application de technologies et de modèles fonctionnels pour les sols extraterrestres.
- e. CNES via Novespace permet aux élèves du secondaire et aux étudiants de mener des expériences en apesanteur à bord de l'Airbus Zero G.

En tout, plus de 2 000 élèves et étudiants, issus de 30 établissements participent chaque année aux activités pédagogiques. Le CNES organise ou contribue également à une large gamme d'activités pédagogiques destinées aux élèves et aux professeurs. Basées sur le principe de renforcement des capacités, elles sont proposées lors de cours d'été, de conférences, d'ateliers, de réunions, d'expositions et de défis.

Recherche et développement dans les domaines scientifiques et techniques

Ligne directrice D.1 - Promotion et soutien de la recherche et du développement de moyens à l'appui de l'exploration et de l'utilisation durables de l'espace

78. Afin de promouvoir et d'appuyer la recherche en technologies spatiales durables, le CNES a lancé l'initiative « Tech 4 Space Care » pour le développement de technologies visant à garantir une utilisation durable de l'espace et la sécurité des opérations spatiales. L'objectif consiste à observer un sujet et fédérer les activités techniques du CNES et de l'industrie spatiale autour de celui-ci. L'étude de la viabilité de l'espace se fait au moyen de projets tels que l'étude de la fiabilité des engins spatiaux, de l'utilisation de l'énergie issue de la thermite en vue d'une destruction lors de la rentrée atmosphérique, les impacts à très haute vitesse sur les réservoirs de propergol, la modélisation des roues de réaction, mais également en promouvant la conception D4D, les études thermiques sur les satellites en fin de vie dans le cadre de plusieurs scénarios de dégradation. De nombreuses autres études sont en cours ou en prévision.

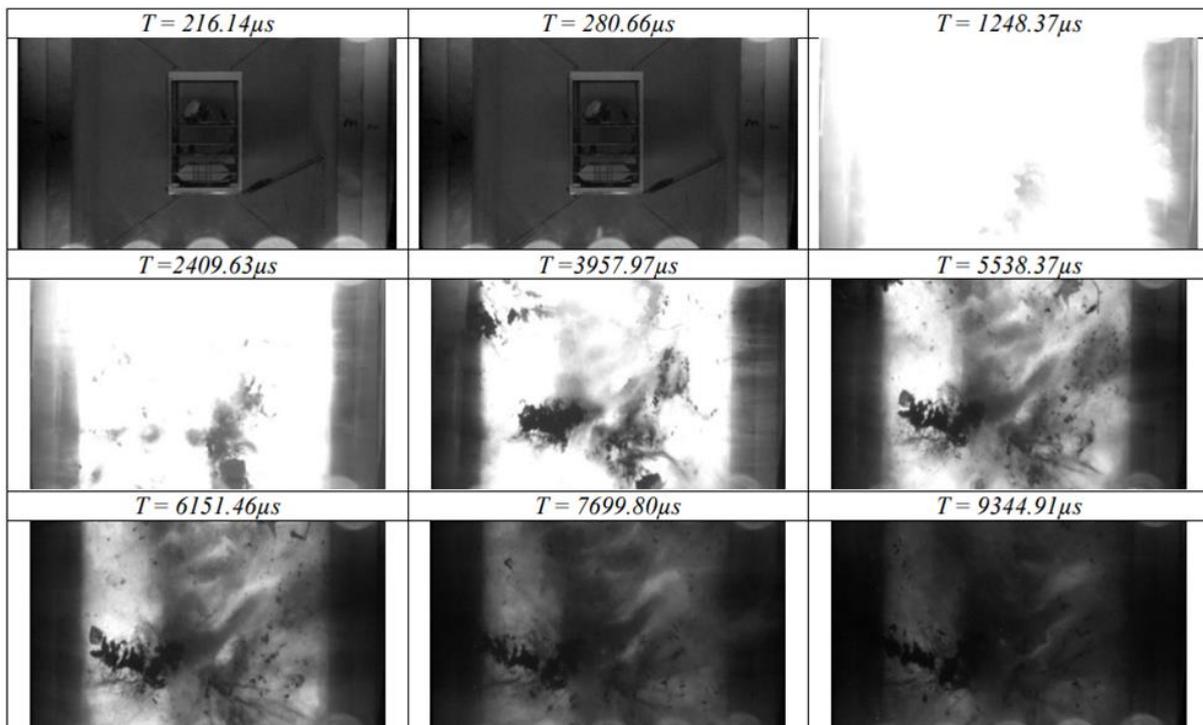


Figure 11 : Expérience T4SC HVI : impact à très haute vitesse (6690+-50 m/s) d'un débris (morceau d'aluminium de 4 mm) sur un CubeSat.

79. En matière de technologies de réduction de l'impact environnemental, la plupart des projets du CNES, des lanceurs aux satellites en passant par les infrastructures, sont conçus selon une démarche d'écoconception. Cela signifie que plusieurs questions environnementales sont prises en compte à chaque étape du projet, de la conception jusqu'à la fin de vie, en passant par les phases de développement et opérationnelles. C'est dans cette perspective que le CNES s'est engagé dans une approche d'analyse du cycle de vie qui permet de mesurer de manière objective toutes les incidences d'un projet. Cette méthode tient compte des matériaux utilisés, des déplacements professionnels réalisés et de l'énergie consommée par les centres de données afin de sélectionner le type d'organisation et les procédures les plus à même d'assurer une approche de réduction de l'impact environnemental. Par exemple, pour les lanceurs, le CNES a conçu un prototype dont le premier étage peut être réutilisé (Themis). La réutilisation d'un lanceur ou d'une partie de celui-ci s'inscrit résolument dans une démarche de développement durable. Par conséquent, l'autre mission de Themis sera de démontrer que ses trois moteurs réutilisables Prometheus peuvent être alimentés par de l'oxygène et du méthane liquides plutôt que par les carburants traditionnels, qui génèrent davantage de pollution atmosphérique.
80. En tant que fer de lance de la communauté spatiale, le CNES entraîne dans son sillage tout un écosystème industriel et régional. Le CNES s'intéresse également de près à l'encadrement et la gestion. Il a mis en place une stratégie d'achats responsable et a construit une relation de confiance avec ses clients et ses fournisseurs. La politique d'achat est un aspect crucial au vu du volume de commandes réalisées chaque année. Par exemple, nous avons conçu une procédure selon laquelle pour les contrats publics, les offres sont sélectionnées non seulement en fonction de critères économiques et techniques, mais aussi d'exigences environnementales en matière d'utilisation durable de l'espace extra-atmosphérique.

Ligne directrice D.2 - Étude et examen de nouvelles mesures de gestion de la population de débris spatiaux sur le long terme

81. Le Bureau SSA du CNES a créé la modélisation de l'évolution des débris spatiaux MEDEE (Modelling the Evolution of Debris on the Earth Environment), qui permet d'analyser l'impact de toutes les mesures de réduction ou de correction sur l'évolution à long terme de l'environnement orbital. L'analyse réalisée par MEDEE nous permet d'évaluer l'évolution à long terme de l'environnement orbital en fonction de l'impact des larges constellations, et plus particulièrement du taux de réussite de leur désintégration après mission ainsi que de leur présence résiduelle en orbite après élimination. Selon cette analyse, il apparaît que les directives de désintégration après mission (par exemple, un taux de réussite de 90% pour la désintégration après mission ou la règle des 25 ans) ne suffisent pas à garantir l'utilisation durable de l'espace dans le cas des larges constellations.
82. Compte tenu des avantages des mesures correctives combinées aux démarches de réduction dans le but d'améliorer la durabilité à long terme de l'environnement orbital, le Bureau SSA du CNES a développé un ensemble d'indices environnementaux d'évaluation du caractère critique de tout objet en termes de durabilité à long terme de l'environnement. Ces indices ont été utilisés dans le cadre d'un effort de collaboration internationale afin d'identifier les 50 débris spatiaux en orbite basse les plus préoccupants d'un point de vue statistique (cf. D. McKnight et al. *Identifying the 50 Statistically-Most-Concerning Derelict Objects in LEO*. *Acta Astronautica*, volume 181, April 2021, Pages 282-291).

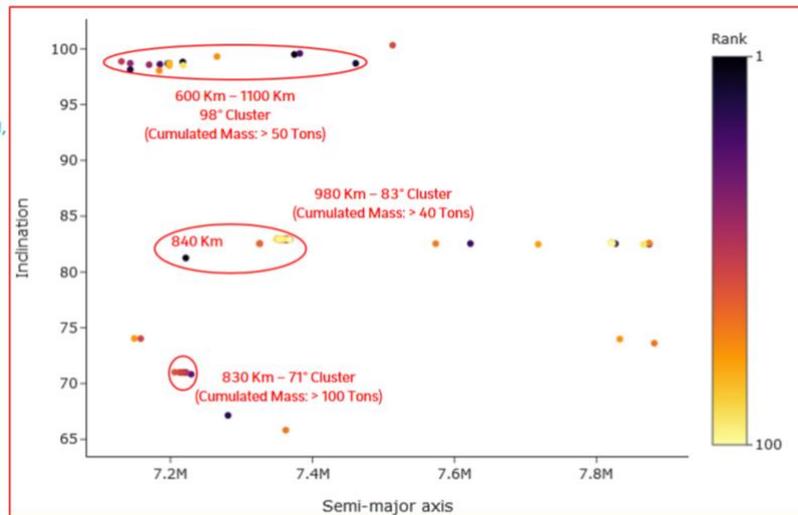


Figure 12 : Classement des 50 débris spatiaux en orbite basse les plus préoccupants d'un point de vue statistique. Ces objets sont concentrés dans trois grappes.

83. Le CNES élabore et coordonne un programme de R&D de niveau national et européen afin de créer des méthodes d'évitement de collision innovantes. Il mène notamment des études sur l'avantage que peut apporter une amélioration de l'automatisation au sol et de l'autonomie embarquée dans la prévention des risques de collision. Pour le CNES, l'objectif est de passer rapidement de la phase R&D à celle de la démonstration, ce qui permettrait d'améliorer la sécurité et la sûreté des opérations spatiales de manière rapide et efficace. Un exemple de réussite de cette démarche est la démonstration récente en vol du système ASTERIA (Autonomous Station-keeping Technology with Embedded collision RISK Avoidance system) dans le cadre de l'expérience ESOC OPS-SAT 3-Units CubeSat (cf. Jerome Thomassin et al., *ASTERIA Autonomous Collision Risk Management*, 72nd International Astronautical Congress (IAC), Dubai, United Arab Emirates, October 25-29, 2021).
84. Le CNES travaille actuellement à la mise au point de nouvelles méthodes de manœuvres anticollision (CAM, *Collision Avoidance Maneuvers*) en vue de réduire les situations à risques multiples, notamment en cas de rapprochements répétés vers un même objet spatial ou d'évitements simultanés de plusieurs objets spatiaux. Le CNES élabore également de nouvelles méthodes de calcul destinées à mieux caractériser le type d'évènement et à améliorer leur calcul de probabilité. Les améliorations à venir portent notamment sur la caractérisation et la propagation des incertitudes dans le domaine de la poussée continue, en particulier pour la propulsion électrique (EOR, *Electric Orbit Raising*).
85. Le CNES développe également des technologies innovantes de prévention de collisions entre objets spatiaux non manœuvrables. Le CNES a également mis au point des technologies laser et le principe de l'évitement de collision juste à temps (JCA, *Just-in-Time Collision Avoidance*) en collaboration avec ses partenaires nationaux et internationaux.
86. Dans le cadre des travaux de réduction des débris menés conformément à la LOS, le CNES a mis un point un outil multidisciplinaire capable de prévoir la survie des objets spatiaux lors de leur rentrée atmosphérique et d'évaluer les risques potentiels au sol. PAMPERO est un outil conçu pour calculer l'attitude d'un engin spatial à l'aide d'une méthode de maillage mobile afin d'être le plus réaliste possible. Les calculs locaux de différents paramètres aérodynamiques (coefficient de pression, flux de transfert par convection ou par rayonnement, température, etc.) réalisés grâce à cette méthode sont plus exacts qu'avec le système utilisé auparavant. Grâce à PAMPERO, le CNES est en mesure de développer et d'étudier toutes les techniques et les technologies tenant compte de l'élimination programmée dès la conception (D4D, *design for demise*).
87. Dans l'optique de la passivation des satellites en fin de vie et de la prévention des explosions en vol, le CNES a créé un dispositif de passivation appelé le « microperforateur » conçu pour passer tous les équipements pressurisés et à prévenir les explosions dues aux énergies résiduelles. Des tests poussés ont été réalisés sur la passivation des batteries afin de découvrir la meilleure façon d'achever en toute sécurité l'épuisement des batteries des engins spatiaux. Il est primordial de comprendre les risques que pose la

batterie en elle-même, notamment les températures ou les rayonnements qu'elle peut supporter, ou encore la probabilité d'emballage thermique pouvant provoquer une explosion.

Conclusions

88. L'espace est aujourd'hui un environnement soumis à des évolutions rapides et à des risques et des menaces croissants. La sécurité et la sûreté des activités spatiales doivent répondre à de nouveaux défis.
- (a) La France reconnaît que l'émergence de nouveaux acteurs et la diversification des opérateurs spatiaux entraîne une complexification croissante des opérations spatiales. Nous prévoyons également l'arrivée des larges constellations et une forte augmentation du nombre de petits satellites. Parmi les évolutions, nous observons aussi l'utilisation de techniques de retrait actif de débris (ADR, active debris removal), la maintenance en orbite (IOS) et les opérations de rendez-vous et de proximité en orbite (RPO). Ces techniques peuvent être envisagées comme des technologies à double usage. La combinaison de ces facteurs et de ces tendances représente des opportunités mais elle suppose également une hausse des risques de collision et de brouillage puisque l'environnement spatial est amené à devenir plus dense et plus encombré.
 - (b) Parallèlement, les menaces intentionnelles qui pèsent sur l'espace se multiplient. L'utilisation pacifique de l'espace extra-atmosphérique qui a prévalu par le passé ne peut désormais plus être tenue pour acquise. Des progrès technologiques inédits ont été réalisés, notamment sur les opérations de proximité de rendez-vous avec une cible non-coopérative. Ces progrès ne doivent pas être détournés de leur usage civil à des fins hostiles. A l'avenir, il pourrait être de plus en plus difficile de faire la distinction entre les systèmes militaires et commerciaux. Ainsi, dans d'autres enceintes –puisque cela ne relève pas de la compétence du CUPEEA–, la France soutient l'élaboration d'un ensemble de normes en faveur d'un comportement responsable pour réduire les menaces dans l'espace²⁰.
89. Étant donnée la dépendance de nos sociétés à l'égard des engins spatiaux, la garantie de la sécurité et de la sûreté des activités spatiales et une priorité pour nous tous. La France estime que les mesures prises par la communauté internationale devraient être axées sur les principes suivants :
- (a) Les activités spatiales doivent être menées conformément au droit international, y compris la Charte des Nations Unies. Ces instruments fournissent un cadre juridique approprié et adapté.
 - (b) Les activités spatiales doivent être menées conformément à la Charte des Nations unies, qui s'applique dans son ensemble à l'espace extra-atmosphérique, et en vertu du droit international. Ces instruments fournissent un cadre juridique approprié et adapté.
 - (c) La communauté internationale doit fournir une réponse globale qui tient compte de la double nature des activités spatiales et de la nécessité de promouvoir une utilisation responsable de l'espace dans le cadre des programmes spatiaux, qu'ils soient civils ou militaires.
 - (d) Toute réponse doit être à la fois efficace, pragmatique, contrôlée et capable d'apporter des avantages concrets et immédiatement mesurables. Ces avantages doivent également tenir compte du développement durable.
 - (e) Enfin, les actions entreprises par la communauté internationale doivent participer aux efforts de développement de pratiques visant à améliorer la confiance et la transparence entre les acteurs.
90. Dans d'autres instances, la France soutient l'élaboration d'un ensemble de normes en faveur d'un comportement responsable dans l'espace²¹. Dans ce domaine, la nécessité de lignes directrices, de meilleures pratiques et de principes communs se fera de plus en plus prégnante. La France appuie les

²⁰ Résolution adoptée par l'Assemblée générale le 7 décembre 2020 (A/RES/75/36) : Réduire les menaces spatiales au moyen de normes, de règles et de principes de comportement responsable.

²¹ Résolution adoptée par l'Assemblée générale le 7 décembre 2020 (A/RES/75/36) : Réduire les menaces spatiales au moyen de normes, de règles et de principes de comportement responsable.

mesures de transparence et de confiance ainsi que l'adoption de normes visant à réguler le comportement des acteurs dans l'espace. A cet égard, nous devons développer une définition commune de ce qui constitue un comportement responsable dans l'espace.

91. En France, l'agence spatiale nationale, le CNES, jouit d'une longue expérience dans le domaine de la sécurité des opérations spatiales avec la Loi sur les Opérations Spatiales (LOS). Adoptée en juin 2008, cette loi prévoit que tous les opérateurs de satellites doivent disposer d'une stratégie de réduction des débris spatiaux. La Règlementation technique qui découle de la LOS, qui est entrée en vigueur en mars 2011, s'applique à toutes les opérations de lancement, aux opérations en orbite lors de la phase opérationnelle des satellites et aux missions d'élimination des satellites en fin de vie. Le CNES est chargé de la supervision des opérateurs de satellites au nom du Ministère de l'Enseignement supérieur et de la recherche, qui délivre les autorisations aux opérateurs. Le cadre juridique national est une contribution précieuse en faveur de la viabilité à long terme des activités dans l'espace extra-atmosphérique.
92. L'environnement connaît des bouleversements nombreux et les risques et les menaces qui pèsent sur lui ne cessent d'augmenter. La question de la SSA est donc primordiale. Aujourd'hui et à l'avenir, nous devons être capables de détecter, d'identifier, de caractériser, de comprendre, d'analyser, d'attribuer la propriété et de vérifier tout ce qui se passe dans l'espace extra-atmosphérique. Il est essentiel d'appréhender le dynamisme et la complexité croissante de l'environnement spatial proche de la Terre afin d'assurer la sauvegarde des engins spatiaux et l'accès à l'espace et pour contribuer à la sécurité, la sûreté et la viabilité à long terme des opérations spatiales. La pression croissante sur les orbites basse et géostationnaire rend la SSA à grande échelle plus indispensable que jamais.
93. La force et l'efficacité de la SSA en France repose sur sa nature double puisque c'est une organisation civile et militaire. Cette notion est primordiale dans le cadre de la contribution à la viabilité à long terme des opérations spatiales. La France pense que ce principe permet de faire face aux enjeux nationaux, mais aussi européens et internationaux, dans le domaine de la viabilité à long terme des opérations spatiales. Le Ministère des Armées et le CNES coopèrent étroitement, non seulement au niveau des programmes, de la stratégie, de la définition des politiques, des capacités et des priorités en matière de surveillance de l'espace, mais aussi au niveau capteurs et opérationnel.
 - (a) Dans le domaine des capteurs, le Ministère des Armées contrôle le radar de détection GRAVES ainsi que plusieurs radars de traçage (SATAM) utilisés par le CNES de manière régulière. GRAVES est un radar bistatique conçu par l'ONERA (Office national d'études et de recherches aérospatiales) et contrôlé par le Commandement De l'Espace. En collaboration avec le CNRS (Centre national de la recherche scientifique), le CNES opère trois télescopes TAROT de surveillance et de traçage. Ils sont situés à Calern, au Chili et sur l'île de la Réunion.
 - (b) La France compte deux centres opérationnels. Premièrement, le Centre opérationnel de surveillance militaire des objets spatiaux définit et met à jour les connaissances en matière de surveillance et de sécurité spatiale et les met à disposition des autorités militaires et politiques. Deuxièmement, le centre SSA du CNES dispose d'une équipe disponible 7 jours sur 7, 24 heures sur 24, responsable de l'évaluation des conjonctions, des alertes et des recommandations de manœuvres d'évitement de collision pour les opérateurs et les propriétaires de satellites. Le centre permet de protéger plus de 40 satellites des risques de collision. Il mène également des campagnes de surveillance opérationnelle sur le risque de rentrée atmosphérique d'objets présentant un danger.
94. La dualité des opérations de SSA en France assure son efficacité. Les dispositions de la LOS permettent également de contribuer à la sécurité, la sûreté et la viabilité des opérations spatiales. En France et en Europe, notre objectif est de travailler ensemble à l'amélioration de l'efficacité des mesures prises en commun. Puisque l'espace représente un enjeu mondial auquel les nations doivent se confronter ensemble, les décisions principales prises par la France le sont en coordination avec ses partenaires européens et internationaux./.