



# Assemblée générale

Distr. générale  
28 octobre 2019  
Français  
Original : anglais

## Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique

### Rapport sur les travaux de l'atelier consacré à l'Initiative internationale sur la météorologie de l'espace

(Trieste (Italie), 20-24 mai 2019)

#### I. Introduction

1. L'Initiative internationale sur la météorologie de l'espace, mise en place en 2009, trouve son origine dans le succès de l'Année héliophysique internationale 2007 (A/64/20, par. 155). Le programme de l'Initiative établit un cadre de collaboration entre des équipes de chercheurs et constitue un exemple de coopération particulièrement remarquable au niveau international pour l'exploitation des instruments, la collecte et l'analyse des données et la publication des résultats. L'Initiative a permis la mise en place d'une plateforme favorisant une approche participative et encourageant les spécialistes de la météorologie de l'espace, en particulier ceux des pays en développement, à former un réseau collaboratif, à partager des idées, des informations et des données, et à élaborer des projets communs.

2. L'Initiative continue de développer les réseaux d'instruments existants et d'en mettre en place de nouveaux. On compte actuellement 19 réseaux mondiaux d'instruments et près de 1 045 installations enregistrant des données sur l'interaction Soleil-Terre, qu'il s'agisse des éjections de masse coronale ou du contenu électronique total de l'ionosphère. On trouvera des informations détaillées sur différents réseaux sur le site Web de l'Initiative ([www.iswi-secretariat.org](http://www.iswi-secretariat.org)). Les instruments sont fournis aux institutions d'accueil par des organismes en Allemagne, en Arménie, au Brésil, aux États-Unis d'Amérique, en France, en Israël, au Japon et en Suisse. En général, les instruments et les données sont fournis par un éminent scientifique ou le chercheur principal d'un projet mené dans le cadre de l'Initiative. Le pays hôte met à disposition des ressources humaines, des installations et le soutien opérationnel nécessaire au bon fonctionnement du projet d'instrumentation, généralement dans une université locale. Les scientifiques nationaux deviennent membres de l'équipe scientifique, et les données et résultats d'analyse sont envoyés à toute l'équipe et mis à la disposition de tous les utilisateurs.

3. Le Comité directeur de l'Initiative, avec l'appui d'un secrétariat qui est situé au Centre de vol spatial de la National Aeronautics and Space Administration des États-Unis (NASA), coordonne l'organisation d'ateliers, de sessions de formation et d'activités d'éducation et de communication dans le monde entier. Le secrétariat mène ses activités en liaison avec le Bureau des affaires spatiales.



4. Les activités de l'Initiative visent à encourager la collaboration entre chercheurs dans des sites présentant un intérêt scientifique et à promouvoir les travaux de recherche dans les pays ayant des compétences dans la mise au point d'instruments scientifiques. La recherche et la mise en commun des découvertes aident à comprendre les phénomènes scientifiques sous-jacents ainsi qu'à reconstituer et à prévoir la météorologie de l'espace circumterrestre.
5. Les réunions annuelles du Comité directeur de l'Initiative se tiennent en marge des sessions du Sous-Comité scientifique et technique du Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique. Les participants à ces réunions examinent l'exploitation et la coordination de divers réseaux d'instruments et l'application opérationnelle des données météorologiques spatiales.
6. Le bulletin d'information périodique de l'Initiative est publié par le Centre international d'étude et d'enseignement de la météorologie de l'espace de l'Université de Kyushu (Japon) et son site Web est tenu par l'Académie des sciences bulgare.
7. Afin d'examiner les résultats obtenus par les réseaux d'instruments déployés par l'Initiative et de débattre des moyens de poursuivre la recherche et la formation sur la météorologie de l'espace, un atelier a été tenu au Centre international Abdus Salam de physique théorique de Trieste (Italie), du 20 au 24 mai 2019. Il était coorganisé par le Centre international, la NASA, le Boston College et le Comité international sur les systèmes mondiaux de navigation par satellite, avec l'appui et le parrainage du Bureau des affaires spatiales, de l'Agence spatiale européenne, du Comité scientifique de la physique solaire et terrestre, du Boston College, de l'Institute of Navigation, de l'Union européenne et des États-Unis par l'intermédiaire du Comité international, de l'Union géodésique et géophysique internationale, et du Centre pour la recherche atmosphérique de l'Agence nationale pour la recherche-développement dans le domaine spatial du Nigéria.
8. On trouvera dans le présent rapport un récapitulatif de l'historique, des objectifs et du programme de l'atelier ainsi qu'un résumé des observations et des recommandations formulées par les participants. Il a été établi à l'intention du Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique et de son sous-comité scientifique et technique, qui en seront saisis respectivement à leurs soixante-troisième et cinquante-septième sessions, toutes deux prévues en 2020.

## **A. Contexte et objectifs**

9. Au cours des 10 dernières années, la météorologie de l'espace, qui découle de la variabilité solaire et de ses incidences sur le climat, l'atmosphère et l'environnement terrestre, a fait l'objet de l'attention de la communauté internationale, même si l'intérêt qu'elle suscite remonte à l'Année géophysique internationale, en 1957. Les politiques d'accès libre aux données des agences spatiales et la coopération internationale dans le cadre des missions spatiales ont particulièrement contribué à la réalisation de progrès scientifiques notables dans le domaine de la physique des relations Soleil-Terre.
10. Le Comité international sur les systèmes mondiaux de navigation par satellite joue un rôle important dans le programme de l'Initiative, ces systèmes étant essentiels pour mieux comprendre la dynamique de l'atmosphère terrestre résultant des phénomènes météorologiques spatiaux extrêmes et de l'interaction Soleil-Terre ainsi que leurs effets sur les satellites.
11. Conformément aux débats sur la météorologie de l'espace du Sous-Comité scientifique et technique (A/AC.105/1202, par. 191 à 209), l'atelier visait à : a) sensibiliser les États Membres à l'importance des effets de la météorologie de l'espace ; b) mettre l'accent sur le déploiement de nouveaux instruments, en particulier dans les pays en développement ; c) examiner les méthodes d'analyse des données sur la météorologie de l'espace ; d) mettre l'accent sur de nouveaux résultats de recherche et de nouvelles constatations ; et e) encourager une plus grande

coopération dans la mise en place de partenariats entre les réseaux d'instruments de l'Initiative.

## B. Programme

12. À l'ouverture de l'atelier, des allocutions de bienvenue et des discours liminaires ont été prononcés par le Directeur du Centre international Abdus Salam de physique théorique et le représentant de la NASA. La représentante du Bureau des affaires spatiales a également prononcé un discours liminaire et présenté un exposé d'orientation.

13. Le programme de l'atelier était très varié, avec un débat principal au début de chaque session technique, suivi de présentations. Les présentations techniques ont porté sur des sujets très divers dans les domaines suivants : a) instruments et données de météorologie de l'espace ; b) modélisation de la météorologie de l'espace ; c) études régionales sur la météorologie de l'espace ; d) physique solaire ; e) couplage magnétosphère-ionosphère-thermosphère ; f) incidences de la météorologie de l'espace ; g) activités des institutions internationales dans le domaine de la météorologie de l'espace ; h) communication et formation ; et i) programmes nationaux de météorologie de l'espace. Une séance de présentation d'affiches a également été organisée dans le cadre de l'atelier. Au total, 62 exposés et 36 affiches scientifiques ont été présentés.

14. Le programme a été établi par le Bureau des affaires spatiales et le Centre international Abdus Salam de physique théorique, en coopération avec la NASA et le Boston College.

15. Les présentations faites lors de l'atelier, les résumés des communications, ainsi que le programme de l'atelier et les documents de référence, sont disponibles sur le site Web du Bureau des affaires spatiales ([www.unoosa.org](http://www.unoosa.org)) et sur celui du Centre international (<http://indico.ictp.it/event/8682/>).

## C. Participation

16. Des scientifiques, des ingénieurs et des membres du corps enseignant de pays en développement et de pays industrialisés de toutes les régions économiques avaient été invités par le Bureau des affaires spatiales, le Centre international Abdus Salam de physique théorique, la NASA et le Boston College à participer à l'atelier et à apporter leur contribution. La sélection des participants a été faite sur la base de leur formation scientifique, technique et académique et de leur expérience dans la mise en œuvre de programmes et de projets dans lesquels l'Initiative jouait un rôle de premier plan. Les préparatifs de l'atelier ont été assurés par un comité scientifique international d'organisation et un comité local d'organisation.

17. Les fonds versés par le Bureau des affaires spatiales, le Centre international et les instances coparrainantes ont servi à couvrir les frais de voyage, d'hébergement et autres de 44 participants venus de 31 pays. Au total, 115 experts ont participé à l'atelier.

18. Les 47 États Membres ci-après étaient représentés à l'atelier : Algérie, Allemagne, Argentine, Azerbaïdjan, Bangladesh, Bosnie-Herzégovine, Brésil, Bulgarie, Burkina Faso, Chili, Chine, Colombie, Costa Rica, Côte d'Ivoire, Croatie, Égypte, Espagne, États-Unis, Éthiopie, Fédération de Russie, Fidji, France, Géorgie, Ghana, Hongrie, Inde, Indonésie, Iran (République islamique d'), Italie, Japon, Kazakhstan, Kenya, Malaisie, Népal, Nigéria, Norvège, Ouganda, Pakistan, Pérou, Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord, Rwanda, Slovénie, Soudan, Sri Lanka, Turquie, Ukraine et Zambie. Des représentants du Bureau des affaires spatiales, de l'Agence spatiale européenne et du Comité scientifique de la physique solaire et terrestre ont également participé à l'atelier.

## II. Observations et recommandations

19. Les participants ont pris note de la situation actuelle et des perspectives concernant un grand nombre de réseaux de surveillance de la météorologie de l'espace. Il a été précisé qu'une météorologie de l'espace défavorable constituait l'une des principales menaces pour les systèmes technologiques. Les éjections de masse coronale, les importantes éruptions solaires et les vents solaires très rapides déclenchaient souvent une série de perturbations dangereuses dans la magnétosphère terrestre, dans l'atmosphère et même à la surface de la Terre.

20. Il a été rappelé que le Réseau d'aide à la décision par cartographie des scintillations était un système de prévision et d'alerte en temps réel des interruptions des communications fondé sur des données. Pour que le Réseau fonctionne, il fallait que ses fonctions soient rétablies (pour la mise à jour du système mondial de localisation et des capteurs très haute fréquence) et que les données soient systématiquement actualisées (données en temps réel mises à la disposition des participants au réseau ou dans le cadre d'une collaboration avec les chercheurs principaux). Au cours de la phase suivante du Réseau, une formation et un enseignement supplémentaires garantissant un meilleur appui au site bénéficieraient à l'ensemble des participants à l'Initiative.

21. Les participants ont fait observer que les mesures effectuées à très basse fréquence fournissaient de précieuses informations sur la réaction de l'ionosphère aux éruptions solaires en rayons X et que le projet éducatif intitulé « Solar flares detected by ionospheric effects » et le système mondial d'observation de la météorologie de l'espace s'étaient servis de ces mesures pour étudier les incidences des éruptions solaires sur la basse ionosphère. Il a été noté que la participation au projet susmentionné était ouverte à tous les établissements d'enseignement et de recherche intéressés et que les très basses fréquences devaient être utilisées pour détecter et analyser les effets des précipitations de particules.

22. Les participants ont rappelé que le Réseau d'imagerie continue H-alpha était un réseau constitué de télescopes terrestres d'observation des éruptions solaires. Les spectroscopes solaires seraient intégrés au Réseau afin d'améliorer la mesure des quantités physiques des phénomènes solaires et des activités seraient organisées pour renforcer les compétences en matière d'analyse de données, y compris de nouvelles données spectroscopiques.

23. Les participants ont été informés de la création du réseau Monitors for Alaska and Canadian Auroral Weather in Space destiné à combler les manques en matière de données sur la météorologie de l'espace. Il s'agit d'un réseau de capteurs en ligne qui fournissait des données à la fois en temps réel et historiques sur la teneur totale en électrons, la teneur différentielle en électrons et la scintillation des Systèmes mondiaux de navigation par satellite (GNSS). Il est prévu que toutes les données soient entrées dans la base de données Madrigal et mises à disposition en vue de leur traitement en temps quasi réel.

24. Les participants ont également été informés que les caméras compactes d'imagerie multicolore utilisaient différents filtres interférentiels selon les types d'émissions optiques. En raison de leur faible coût et du peu de ressources nécessaires, elles pourraient être judicieusement déployées partout dans le monde pour la réalisation d'observations terrestres et suborbitales, et même embarquées sur de petits satellites. Il a été souligné que ces caméras contribueraient au renforcement des capacités en matière de développement d'instruments optiques, de collecte, de traitement et d'analyse des données, d'interprétation des paramètres de la météorologie de l'espace et de coopération internationale.

25. Concernant les futurs instruments d'observation de la météorologie de l'espace, une présentation a été faite sur les capacités et le développement d'un nouveau coronographe qui serait embarqué à bord de la prochaine mission Solar Orbiter, ainsi que sur les possibilités scientifiques et opérationnelles d'observation de la couronne

solaire à proximité du disque solaire, aussi bien en termes d'amélioration de la qualité que de gain de temps pour la prévision des effets de la masse coronale sur la Terre. Les débats qui ont suivi ont porté sur les observations terrestres des ondes radio plutôt que sur l'optique spatiale. L'accent a été mis sur l'importance des émissions radio et de leur polarisation pour la compréhension de l'héliosphère ainsi que sur les incidences des sursauts radio sur les systèmes d'origine humaine.

26. Les participants ont pris note des observations des émissions d'ultraviolet dans l'ionosphère réalisées par la Station spatiale internationale. Leur intensité était proportionnelle au carré de la densité électronique, offrant ainsi une mesure précise de la densité plasmatique dans la haute atmosphère. De nombreux résultats, des caractéristiques morphologiques aux observations de la structure verticale, ont été échangés et résumés, l'idée essentielle étant qu'il restait encore beaucoup à apprendre de cet ensemble de données riche et unique.

27. Les participants ont également noté que des réseaux de capteurs du GNSS étaient utilisés en Afrique de l'Ouest et que les données disponibles présentaient certains avantages. Il a été souligné que malgré le nombre croissant de capteurs, certaines sources produisaient très peu de données et qu'un réseau dont les capteurs étaient situés majoritairement dans des aéroports fournissait des données plus cohérentes, l'alimentation en électricité et la qualité des communications y étant meilleures. Il s'agissait là de remarques pertinentes dont il faudrait tenir compte à l'avenir pour l'installation de nouveaux capteurs.

28. Les participants ont débattu de la mise à disposition et de la diffusion des données par l'intermédiaire du centre de données issues des ateliers coordonnés parrainés par la NASA. Il a été souligné que cet outil numérique virtuel apportait une aide précieuse aux spécialistes de la météorologie de l'espace et qu'il centralisait de nombreux types de données pour l'obtention desquelles les usagers auraient autrement été obligés de faire de nombreuses recherches dans différentes interfaces et selon plusieurs formats.

29. Les participants ont reconnu que la facilité et la commodité propres à l'existence d'un point de distribution normalisé central, tel que le centre de données susmentionné, avaient nettement amélioré le développement de produits de météorologie de l'espace et que l'interface Web en accès libre avait permis à tous les utilisateurs, dans tous les pays, d'en profiter.

30. Les participants ont noté que la technologie du GNSS était un moyen relativement pratique pour observer l'activité de l'ionosphère. En conséquence, il fallait tendre vers l'agrégation et la réduction standardisée des données entre les régions. Ils ont souligné la nécessité de regrouper et de normaliser les données archivées du GNSS et de les mettre à disposition, comme les ensembles de données solaires disponibles dans le cadre des ateliers coordonnés d'analyse des données. Le Centre international Abdus Salam de physique théorique a apporté une solution à ce problème en annonçant le lancement d'un projet consistant à étalonner et à charger les données mondiales des GNSS sur la teneur totale en électrons collectées au cours des 20 dernières années et à les mettre à la disposition des spécialistes de la météorologie de l'espace.

31. Les participants ont fait observer que des instruments et des techniques de télédétection très variés étaient utilisés pour sonder les régions qui allaient de la proximité de la surface du Soleil à la strate inférieure de l'ionosphère. Toutefois, certains ont estimé qu'il serait souhaitable d'organiser un atelier plus spécialisé dans le cadre du programme de l'Initiative.

32. Les participants ont pris note des derniers progrès réalisés dans le domaine de la modélisation de la météorologie de l'espace, y compris les améliorations apportées aux codes et aux algorithmes existants, correspondant à la grande diversité des prédictions en météorologie de l'espace entre le Soleil et la Terre. Ils ont également pris note des études régionales sur la météorologie de l'espace fondées sur des observations, des analyses de données et des modélisations pour comprendre et

prédire l'état et les interactions complètes du Soleil, des vents solaires, de la magnétosphère et de l'ionosphère et de leurs effets sur les systèmes technologiques.

33. On a donné aux participants des informations sur la taille et l'énergie estimatives des éruptions solaires et des éjections de masse coronale les plus extrêmes compte tenu de ce que l'on savait d'événements passés concernant des étoiles de même type. L'étude de ces événements a permis d'établir des statistiques pour lesquelles l'énergie estimative produite par des événements hypothétiques était déduite des queues de haute énergie des distributions. Ainsi, de la célèbre tempête/éjection de masse coronale de Carrington, on a pu déduire qu'une éruption produisant une énergie de  $10^{33}$  ergs avait lieu tous les 150 ans, alors qu'une éruption de  $10^{34}$  ergs avait lieu tous les 125 000 ans.

34. Les participants ont noté que les observations de faibles mouvements dans les filaments solaires faites depuis la Terre par le réseau H-alpha semblaient précéder les éruptions solaires. Des signaux décalés par l'effet Doppler dans les parties rouges et bleues de la raie H-alpha avaient été observés. Ces mouvements avaient eu lieu entre quelques minutes et quelques heures avant une éruption et ils avaient ainsi pu être utilisés comme signaux annonciateurs d'éruptions importantes et des éjections de masse coronale associées.

35. Les participants ont également pris note de l'ampleur des halos d'éjections de masse coronale pendant les vingt-troisième et vingt-quatrième cycles solaires. Ces phénomènes résultaient d'événements se produisant à proximité du centre du disque solaire et ils pouvaient être corrélés avec la météorologie de l'espace sur la Terre. Les données provenaient du catalogue des éjections de masse coronale observées par le coronographe à grand angle et spectrométrique de l'Observatoire solaire et héliosphérique, établi dans le cadre des ateliers d'analyse des données coordonnées. Au cours des deux cycles, les niveaux maximums étaient comparables mais les distributions différaient. Les données tenaient également compte des sursauts radio de type II, provoqués par des ondes de choc formées par les éjections de masse coronale.

36. Bien que cela n'ait pas été prévu, les étudiants et les chercheurs ont également eu l'occasion de présenter un résumé de leurs exposés pendant la partie orale de la session, et ainsi de s'entraîner. Certains participants ont déclaré que selon eux, lors de prochains ateliers, il pourrait être judicieux de prévoir du temps pour que les étudiants présentent des résumés sous forme d'affiches et d'encourager ainsi les jeunes à participer aux activités de l'Initiative et à des projets qui faisaient reculer les limites de la recherche, du développement et de l'expérimentation.

37. Les participants ont reconnu que la recherche sur la météorologie de l'espace bénéficiait d'une coordination et d'une collaboration efficaces sur le plan international dans les domaines de l'échange et de l'utilisation des données d'observation disponibles ; de l'évaluation des capacités de prévision et d'analyse ; de la promotion de la connaissance, de la théorie et de la modélisation ; et de l'application des progrès issus de la recherche à la météorologie de l'espace.

38. Ils ont pris note de deux initiatives mondiales qui pourraient bénéficier d'une coordination et de la création de synergies avec l'Initiative : les groupes d'action internationaux spécialisés en météorologie de l'espace du Comité de la recherche spatiale, et l'Heliophysics Data Environment Alliance. Il a été noté que les groupes d'action internationaux spécialisés en météorologie de l'espace étaient ouverts aux personnes et aux groupes désireux de participer activement à leurs activités.

39. Les participants ont rappelé que l'Initiative visait notamment à accroître le nombre de spécialistes en météorologie de l'espace dans le monde. En Afrique, par exemple, des centaines de doctorants et de jeunes chercheurs avaient été formés à la météorologie de l'espace et avaient acquis les compétences nécessaires pour réaliser des recherches. Aujourd'hui, de nombreuses équipes nationales et régionales se consacraient au renforcement des capacités en matière d'observation de la

météorologie de l'espace, d'instrumentation, de formation et de recherche dans les établissements dont elles dépendaient.

40. Les participants ont noté qu'il faudrait continuer de fournir des conseils techniques et un soutien au renforcement des capacités aux pays qui souhaitent s'engager dans l'étude et l'enseignement de la météorologie de l'espace. Pour cela, il fallait que des techniciens et des ingénieurs acquièrent des connaissances plus approfondies des stations terrestres et des instruments d'observation de la météorologie de l'espace. Il a été noté qu'il faudrait développer encore les possibilités de partenariats sur le long terme en matière de renforcement des capacités au sein de l'Organisation des Nations Unies.

41. Les activités de l'Initiative étaient coordonnées avec celles des centres régionaux de formation aux sciences et techniques spatiales, affiliés à l'Organisation des Nations Unies, et le programme du Comité international sur les systèmes mondiaux de navigation par satellite sur les applications des GNSS. À cet égard, les participants ont pris note de l'atelier africain sur les GNSS et la météorologie de l'espace qui se tiendrait en français au Centre régional africain de formation aux sciences et techniques spatiales à Rabat, en 2020. L'atelier serait coorganisé par le Bureau des affaires spatiales, le Centre international Abdus Salam de physique théorique et le Boston College.

42. Les participants ont exprimé leur gratitude au Bureau des affaires spatiales, au Centre international Abdus Salam de physique théorique et aux instances parrainantes pour le contenu de l'atelier et son excellente organisation.

---