Nations Unies A/AC.105/1370

Assemblée générale

Distr. générale
10 novembre 2025
Français
Original : anglais

Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique

Rapport de l'atelier ONU/Nigéria consacré à l'Initiative internationale sur la météorologie de l'espace : la météorologie de l'espace pendant un cycle solaire modéré

(Abuja, 6-10 octobre 2025)

I. Introduction

1. La nécessité de mieux comprendre les relations entre le Soleil et la Terre est née de l'Année héliophysique internationale, un effort coordonné au niveau international pour promouvoir et faire progresser la recherche sur le Soleil et ses effets sur le système solaire et au-delà. L'objectif de l'Initiative internationale sur la météorologie de l'espace, lancée en 2009, était d'acquérir les connaissances scientifiques nécessaires pour comprendre, représenter et prévoir la météorologie de l'espace circumterrestre. Il s'agissait notamment de mettre en place des réseaux d'instruments, de permettre la mise en commun des données et de renforcer les capacités (éducation, formation et séminaires en ligne), et de sensibiliser le public. On trouvera des informations sur toutes les réalisations résultant de la coopération et de la coordination internationales dans le cadre de l'Initiative dans son bulletin d'information et sur son site Web (www.iswi-secretariat.org).

2. L'atelier ONU/Nigéria consacré à l'Initiative internationale sur la météorologie de l'espace : la météorologie de l'espace pendant un cycle solaire modéré a été organisé conjointement par le Bureau des affaires spatiales et la National Space Research and Development Agency (Agence nationale pour la recherche-développement dans le domaine spatial) au nom du Gouvernement nigérian. Il était coorganisé et coparrainé par le Comité international sur les systèmes mondiaux de navigation par satellite et a été accueilli par la National Space Research and Development Agency à Abuja, du 6 au 10 octobre 2025.

3. Le présent rapport décrit le contexte de l'atelier, en expose les objectifs et le programme et résume les observations formulées par les personnes qui y ont participé ainsi que leurs conclusions. Il a été établi pour être présenté au Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique à sa soixante-neuvième session et pour être examiné par le Sous-Comité scientifique et technique à sa soixante-troisième session, qui se tiendront toutes deux en 2026.

A. Contexte et objectifs

4. Il existe, partout dans le monde, une volonté croissante de mieux comprendre les interactions Soleil-Terre, en particulier les caractéristiques et les tendances de la

Merci de recycler

météorologie de l'espace. Cet engouement n'a pas que des motivations scientifiques, l'exploitation fiable des moyens et infrastructures terrestres et spatiaux dépendant de plus en plus de leur résistance aux effets néfastes de la météorologie de l'espace. Il est donc important de mieux comprendre la physique de la météorologie de l'espace, d'améliorer les capacités de prévision de ces phénomènes et de développer des stratégies d'atténuation de leurs effets sur les infrastructures technologiques.

5. Conformément à l'examen, par le Sous-Comité scientifique et technique, du point de l'ordre du jour intitulé « Météorologie de l'espace »[1], les objectifs de l'atelier étaient les suivants : a) mettre l'accent sur le déploiement de nouveaux instruments, en particulier dans les pays en développement ; b) examiner les méthodes d'analyse et d'interprétation des données sur la météorologie de l'espace ; c) mettre l'accent sur les nouveaux résultats de recherche et les nouvelles constatations ; d) renforcer la coordination et la coopération internationales en matière de produits et services en rapport avec la météorologie de l'espace. Les débats tenus pendant l'atelier ont également porté sur le Programme de développement durable à l'horizon 2030 et plus particulièrement sur les objectifs de développement durable n°s 4, 9 et 17.

B. Programme

6. En ouverture de l'atelier, des représentantes et représentants du Ministère fédéral de l'innovation, de la science et de la technologie (Nigéria), de la National Space Research and Development Agency (Nigéria), de la National Aeronautics and Space Administration (NASA) (États-Unis d'Amérique) et du Bureau des affaires spatiales ont prononcé des allocutions de bienvenue.

7. Un expert de la NASA a prononcé une allocution liminaire sur les résultats de l'Initiative internationale sur la météorologie de l'espace. Il a présenté les activités menées dans le cadre de l'Initiative, et mis l'accent sur celles qui avaient été menées en Afrique. Les activités de la Société africaine de géophysique, créée en 2012 par des scientifiques, ont également été mises en lumière.

8. La représentante du Nigéria a fait une présentation consacrée au rôle des sciences spatiales, de l'innovation, de la science et de la technologie dans le développement durable d'une nation qui portait sur l'utilisation des sciences et techniques spatiales au service du développement durable et examinait les défis régionaux et nationaux.

9. Le programme de l'atelier était divisé en neuf séances plénières et deux tables rondes. Quarante-trois présentations au total ont été faites par des orateurs et oratrices invités, qui ont fait part des résultats de leurs activités dans les domaines de la recherche, de l'enseignement et de la sensibilisation en lien avec l'Initiative internationale sur la météorologie de l'espace et ses réseaux d'instruments. Les débats ont permis aux participantes et participants de se concentrer sur certains problèmes et projets particuliers en rapport avec la météorologie de l'espace, en particulier les réseaux d'instruments et leur état de fonctionnement et de coordination, ainsi que sur l'utilisation opérationnelle des données relatives à la météorologie de l'espace.

10. L'atelier a porté sur les sujets suivants : a) la physique solaire ; b) les instruments et les données relatifs à la météorologie de l'espace ; c) la modélisation de la météorologie de l'espace et l'intelligence artificielle ; d) les phénomènes extrêmes liés à la météorologie de l'espace ; e) l'ionosphère, la magnétosphère et la thermosphère ; f) les incidences de la météorologie de l'espace ; g) les études de cas et les programmes de sensibilisation et de formation théorique à la météorologie de l'espace ; h) les programmes dans le domaine de la météorologie de l'espace ; i) la recherche scientifique appliquée à l'espace.

[1] A/AC.105/1338, par. 84 à 92.

11. Les participantes et participants à l'atelier ont pu bénéficier d'une visite des installations de la National Space Research and Development Agency, y compris du musée de l'espace et du planétarium.

12. Dans de brèves déclarations, l'équipe d'organisation et les personnes participant à l'atelier se sont félicitées des contributions de fond et sur le long terme apportées à l'élaboration de l'Initiative internationale sur la météorologie spatiale, notamment au profit des pays en développement.

13. Le programme de l'atelier a été élaboré par le Bureau des affaires spatiales et la National Space Research and Development Agency, en coopération avec un comité d'organisation scientifique international. Les personnes désignées pour assurer la présidence des séances plénières et des débats et les fonctions de rapporteur ont communiqué leurs observations et leurs notes en vue de l'établissement du présent rapport.

14. Les résumés des présentations ainsi que les documents de référence peuvent être consultés sur le site Web du Bureau des affaires spatiales (www.unoosa.org). Des copies des présentations ont également été mises à la disposition des participantes et participants à l'atelier.

C. Participation

15. Le Bureau des affaires spatiales a invité des personnes appartenant au monde scientifique et technique et des membres du corps enseignant de pays en développement et développés de toutes les régions à participer à l'atelier et à y contribuer. Ces personnes ont été sélectionnées sur la base de leur formation scientifique, technique et académique et de leur expérience dans l'exécution de programmes et de projets dans lesquels l'Initiative internationale sur la météorologie de l'espace jouait un rôle de premier plan.

16. Les fonds alloués par l'ONU et le Comité international sur les systèmes mondiaux de navigation par satellite ont servi à couvrir les frais de voyage, d'hébergement et autres de 15 participantes et participants représentant 15 pays. Au total, ce sont 46 spécialistes, dont 14 femmes, qui ont participé à l'atelier.

17. Les 22 États Membres suivants étaient représentés en personne ou en ligne à l'atelier : Afrique du Sud, Algérie, Allemagne, Burkina Faso, Chine, Côte d'Ivoire, Croatie, Égypte, États-Unis d'Amérique, Éthiopie, Fédération de Russie, France, Inde, Indonésie, Japon, Kenya, Nigéria, Norvège, Ouganda, Rwanda, Serbie et Zimbabwe. Le Bureau des affaires spatiales était également représenté.

II. Observations et conclusions

18. Au cours de l'atelier, il a été noté que lorsqu'on parlait d'éruptions solaires, on se référait généralement aux éjections et aux éruptions de matière coronale. Ces deux phénomènes étaient à l'origine de la météorologie de l'espace. Les éruptions solaires provoquaient des changements soudains du niveau d'ionisation dans l'ionosphère et les éjections de masse coronale étaient associées à des mouvements de particules énergétiques solaires et à des tempêtes géomagnétiques. Une éruption d'une intensité inhabituelle et/ou une éjection de masse coronale d'une énergie extrêmement élevée pouvaient être considérées comme des exemples de phénomènes solaires extrêmes.

19. Les participantes et participants à l'atelier ont rappelé que plusieurs spectromètres CALLISTO (instrument astronomique basse fréquence économique pour la spectroscopie et l'observation mobile) avaient été déployés dans le monde entier dans le cadre de l'Année héliophysique internationale et de l'Initiative internationale sur la météorologie de l'espace pour surveiller les sursauts radio solaires et les éruptions solaires et qu'ils constituaient ensemble le réseau e-CALLISTO. Il a été noté que le Centre aérospatial allemand (DLR), situé à

Neustrelitz, exploitait plusieurs récepteurs CALLISTO (10-80 MHz, 100-800 MHz et 1 000-1 600 MHz), dont les antennes suivaient la position du Soleil pour obtenir les meilleures mesures, et que les récepteurs d'origine avaient été perfectionnés pour minimiser le bruit et faciliter les travaux de maintenance de manière à pouvoir observer le comportement des différents trajets de propagation. Il en a résulté des récepteurs compacts dotés d'un écran intégré et d'un ordinateur personnel, grâce auxquels il était possible de procéder à diverses analyses des phénomènes relatifs à la météorologie de l'espace.

20. Les personnes participant à l'atelier ont examiné la question des prévisions en météorologie de l'espace en utilisant des approches traditionnelles, ainsi que les avantages de l'utilisation de techniques d'apprentissage automatique pour identifier et caractériser les phénomènes qui déterminaient la météorologie de l'espace.

21. Les participantes et participants à l'atelier ont observé que les techniques d'intelligence artificielle étaient porteuses d'un gros potentiel pour améliorer la prévision des tempêtes géomagnétiques. En analysant de grosses quantités de données historiques et de données en temps réel, les modèles produits par l'intelligence artificielle pourraient faire ressortir des schémas et des relations complexes qui ne seraient pas apparus par une analyse traditionnelle. Des algorithmes d'apprentissage automatique, tels que la régression linéaire et les machines à vecteurs de support, pourraient être utilisés pour prédire l'occurrence et l'intensité des tempêtes géomagnétiques sur la base des paramètres du vent solaire et d'autres données relatives à la météorologie de l'espace.

22. En outre, l'utilisation de l'intelligence artificielle dans les prévisions relatives à la météorologie de l'espace avait donné des résultats prometteurs. Par exemple, les réseaux de mémoire à court et à long terme avaient été appliqués avec succès pour prédire les indices géomagnétiques tels qu'un indice quasi logarithmique, dérivé des mesures du champ magnétique terrestre (indice Kp), qui quantifiait l'activité géomagnétique. Ces réseaux avaient démontré leur capacité à fournir des prévisions plus précises et plus rapides que les méthodes traditionnelles, ce qui pourrait donner aux opérateurs d'infrastructures critiques plus de temps pour mettre en œuvre des mesures de protection.

23. Les participantes et participants à l'atelier ont pris note de l'existence de Madrigal, une base de données scientifiques sur la haute atmosphère (http://cedar.openmadrigal.org/) qui intégrait des observations sur plusieurs décennies provenant de plus de 159 instruments, y compris le contenu total vertical en électrons (VTEC) basé sur le Système mondial de navigation par satellite (GNSS). Cet ensemble de données unique constituait une ressource pour les applications d'apprentissage automatique dans le domaine de la recherche sur la météorologie de l'espace.

24. Les participantes et participants à l'atelier ont été informés des capacités avancées des services de données mondiaux de l'Agence spatiale européenne (ESA), de la NASA et du programme européen d'observation de la Terre (Copernicus), qui offraient un accès libre aux données d'observation de la Terre et de physique spatiale. Ces services comprenaient la plateforme de connaissance de la situation spatiale de l'ESA, les portails consacrés à l'héliophysique de la NASA et le Copernicus Data Space Ecosystem, tous essentiels à la surveillance de la Terre, du système solaire et de la météorologie de l'espace.

25. Les participantes et participants à l'atelier ont noté que plusieurs phénomènes relatifs à la météorologie de l'espace pouvaient créer des perturbations dans la magnétosphère et l'ionosphère terrestres qui dégradaient les performances et la capacité de poursuite des satellites pour les récepteurs de positionnement GNSS. Ces phénomènes comprenaient des vents solaires à grande vitesse, des éjections de matière coronale, de grandes éruptions solaires et des trous coronaux, qui étaient généralement (mais pas toujours) liés aux taches solaires ou au cycle solaire de onze ans. Deux indices, l'indice de scintillation d'amplitude et l'indice du taux de contenu

électronique total, avaient été établis pour étudier les irrégularités du plasma en fonction de leur incidence sur le signal GNSS.

26. Les participantes et participants à l'atelier ont également noté que les récepteurs du GNSS, conçus à l'origine pour le positionnement, étaient désormais utilisés pour étudier les irrégularités de l'ionosphère. Le grand nombre de récepteurs GNSS avait permis de réaliser des progrès significatifs dans l'étude de l'ionosphère, et en particulier des irrégularités du plasma.

27. Les participantes et participants à l'atelier ont appris que l'on pouvait utiliser des réseaux denses de récepteurs GNSS multifréquences peu onéreux pour obtenir des informations sur l'ionosphère ayant le même niveau de précision que les récepteurs GNSS multifréquences géodésiques et/ou scientifiques et pour démontrer que ces informations pouvaient servir à produire des cartes des paramètres ionosphériques ainsi récupérés à des fins d'études scientifiques et d'exploitation des systèmes radio. Cela impliquait de réaliser une surveillance de la scintillation globale à l'aide de récepteurs peu onéreux dans les zones mal couvertes, réduisant ainsi les coûts et intensifiant la densité des récepteurs au sol pour la détection locale et la caractérisation des fluctuations ionosphériques produites par la scintillation.

28. Les participantes et participants à l'atelier ont noté que le vingt-cinquième cycle solaire était actuellement à son apogée et que les satellites en orbite basse se trouvaient de plus en plus dans des environnements hostiles. L'activité solaire actuelle pourrait exacerber le problème de la traînée atmosphérique pour les objets en orbite basse, ce qui pourrait accélérer la dégradation de l'orbite et donc affecter les débris spatiaux existants. Une analyse détaillée de l'impact à long et à court terme de la traînée sur certains objets catalogués en orbite terrestre basse fournissait des informations sur la manière d'améliorer la connaissance de la situation spatiale au cours du cycle solaire actuel. Ces résultats soulignaient qu'il importait de surveiller en permanence l'activité solaire et d'améliorer les modèles de traînée atmosphérique pour atténuer les risques associés à la dégradation accélérée de l'orbite et au problème croissant que représentait la gestion des débris spatiaux dans l'environnement de l'orbite terrestre basse.

29. Du point de vue des opérations aériennes, des phénomènes liés à la météorologie de l'espace perturbaient les systèmes de communication, de navigation et de surveillance. En outre, les doses de rayonnements à l'altitude du vol étaient élevées, car les phénomènes météorologiques spatiaux pouvaient se produire sur de courtes périodes avec des effets pouvant être quasi instantanés ou s'étendre sur quelques jours.

30. La South African National Space Agency (Agence spatiale nationale sud-africaine) gérait un centre régional de météorologie de l'espace fonctionnant 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7, qui avait ouvert ses portes en novembre 2022 et avait été accrédité par l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI). Le rôle d'un centre régional était d'aider les quatre centres mondiaux de l'OACI à fournir des informations relatives à la météorologie de l'espace au secteur de l'aviation. En tant que centre régional accrédité, il était important qu'il collabore avec les autres centres mondiaux accrédités par l'OACI afin de garantir un service cohérent et fiable qui serve les intérêts de l'Afrique. La South African National Space Agency a fait part de son expérience en matière de création et de gestion d'un centre opérationnel fonctionnant en permanence, et de maintien de partenariats régionaux pour le développement du réseau d'instruments au sol dans la région de l'Afrique. Grâce à ses fonctions de centre régional de météorologie de l'espace fonctionnant 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7, la South African National Space Agency était en bonne place pour participer efficacement aux efforts mondiaux visant à relever les défis de la météorologie spatiale.

31. Les débats tenus au cours de l'atelier ont permis de cerner : a) toute lacune importante concernant les types d'instruments et leur couverture dans la région de l'Afrique ; b) les problèmes de maintenance des instruments et des flux de données en termes de continuité, de collecte, d'analyse et de modélisation des données ; c) les

manières d'attirer des scientifiques en début de carrière et de soutenir d'autres initiatives internationales en cours consacrées à la météorologie de l'espace.

32. Les participantes et participants à l'atelier ont reconnu que les aspects fondamentaux de l'Initiative internationale sur la météorologie de l'espace comprenaient des activités d'éducation, de formation et de sensibilisation du public. L'idée était d'encourager et de soutenir les cours, les ateliers et les programmes d'études en sciences spatiales dans les universités et les écoles supérieures qui fournissaient une aide matérielle. De nombreux succès avaient été enregistrés dans ces domaines, mais il était nécessaire de poursuivre l'éducation et la formation, d'élaborer des documents de sensibilisation du public propres à l'Initiative et d'en coordonner la distribution. Il était important de fournir aux médias, en particulier aux médias locaux, des informations sur les réseaux d'instruments et les résultats de l'Initiative.

33. Les personnes participant à l'atelier sont convenues que les données provenant des réseaux d'instruments de l'Initiative internationale sur la météorologie de l'espace devraient être combinées avec des données spatiales et des données terrestres au moyen de la modélisation et des mesures afin de faire progresser la science de la météorologie de l'espace, l'objectif étant ainsi d'obtenir des résultats de recherche solides et de publier des articles scientifiques dans des revues internationales.

34. Afin de renforcer la coordination et la collaboration internationales dans le domaine de la recherche et des services relatifs à la météorologie de l'espace, il faudrait éviter tout obstacle qui entraverait la circulation des données et la communication. À cette fin, une politique ouverte en matière de données, assortie de règles de fonctionnement et de normes de données, devrait être encouragée au niveau national.

35. Les participantes et participants ont remercié l'Organisation des Nations Unies, le Gouvernement nigérian, la National Space Research and Development Agency, les parrains de cette manifestation et le comité d'organisation scientifique pour le contenu, l'excellente organisation et le succès de l'atelier.