



Assemblée générale

Distr. générale
24 novembre 2022
Français
Original : anglais

Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique

Rapport sur l'atelier ONU/Azerbaïdjan consacré aux travaux sur le Soleil, la météorologie de l'espace et la géosphère menés dans le cadre de l'Initiative internationale sur la météorologie de l'espace

(Bakou, 31 octobre-4 novembre 2022)

I. Introduction

1. La météorologie de l'espace a par nature une dimension internationale. Les tempêtes solaires et magnétiques touchent simultanément de vastes régions de la Terre et les perturbations ionosphériques équatoriales sont des phénomènes qui se produisent fréquemment dans le monde. Il est donc utile que l'Organisation des Nations Unies (ONU) encourage les progrès de la modélisation et de l'établissement de prévisions dans le domaine de la météorologie de l'espace, dont tous les pays pourront profiter.
2. L'Initiative internationale sur la météorologie de l'espace, qui a vu le jour en 2009, a permis de développer les capacités de recherche de nombreux pays dans les disciplines scientifiques touchant aux relations Soleil-Terre et à la météorologie de l'espace. Elle a également permis la mise en place d'une plateforme qui repose sur une approche participative et encourage 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.
3. Bien que le Sous-Comité scientifique et technique du Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique ait officiellement achevé l'examen du point de l'ordre du jour intitulé « Initiative internationale sur la météorologie de l'espace » en 2012, les activités menées dans ce cadre se sont poursuivies au titre du point intitulé « Météorologie spatiale » (voir [A/AC.105/1001](#), par. 226).
4. L'Initiative continue de développer les réseaux d'instruments existants et d'en créer de nouveaux. On compte actuellement 19 réseaux d'instruments à l'échelle mondiale et près de 1 045 installations enregistrant des données sur l'interaction Soleil-Terre, qu'il s'agisse des éjections de masse coronale ou de la teneur totale en électrons de l'ionosphère. Le site Web de l'Initiative est accessible à l'adresse suivante : www.iswi-secretariat.org.
5. L'Initiative a permis aux scientifiques d'utiliser les données des systèmes mondiaux de navigation par satellite dans des études consacrées à la météorologie de l'espace. Ces études ont été l'occasion, pour des scientifiques s'occupant de différents



domaines (tels que la sismologie, l'ionosphère et l'atmosphère), de travailler ensemble sur la météorologie de l'espace et elles ont permis d'appliquer la physique fondamentale des relations Soleil-Terre à la vie quotidienne, ce qui revêt une grande importance pour les responsables politiques.

6. L'Initiative est administrée par un comité directeur, qui se réunit une fois par an en marge des sessions du Sous-Comité scientifique et technique. Les personnes participant à cette réunion examinent l'état de marche et la coordination des différents réseaux d'instruments, l'analyse des données sur la météorologie de l'espace et les travaux menés dans le cadre de l'Initiative. Les rapports annuels soumis par les personnes chargées de la coordination et de l'exploitation des instruments au niveau national sont présentés à la réunion et publiés dans le bulletin d'information de l'Initiative.

7. L'atelier ONU/Azerbaïdjan consacré aux travaux sur le Soleil, la météorologie de l'espace et la géosphère menés dans le cadre de l'Initiative internationale sur la météorologie de l'espace avait pour objet d'examiner les résultats obtenus par les réseaux d'instruments de l'Initiative et de débattre des moyens de poursuivre la recherche et la formation dans le domaine de la météorologie de l'espace. Il était organisé conjointement par le Bureau des affaires spatiales et l'Université d'État de Bakou pour le compte du Gouvernement azerbaïdjanais, avec le concours et le coparrainage du Comité international sur les systèmes mondiaux de navigation par satellite. Il s'est tenu à l'Université d'État de Bakou, selon des modalités hybrides, du 31 octobre au 4 novembre 2022.

8. Le présent rapport décrit le contexte de l'atelier, en expose les objectifs et le programme et résume les observations et les recommandations des personnes qui y ont participé. 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-sixième et soixantième sessions, toutes deux prévues en 2023.

A. Contexte et objectifs

9. L'Initiative comprend trois éléments : a) le programme relatif aux réseaux d'instruments, qui régit l'exploitation et le déploiement d'instruments de surveillance de la météorologie de l'espace ; b) le programme de coordination et d'analyse des données de l'Initiative aux fins de la mise au point de modèles prévisionnels ; et c) des programmes de formation théorique et pratique et de sensibilisation du public.

10. Les milieux scientifiques et la société étant de plus en plus conscients des effets de la météorologie de l'espace sur l'infrastructure de l'économie mondiale, il est impératif que les travaux de recherche menés au titre de l'Initiative le soient de manière concertée au niveau mondial, car ils permettront en définitive de mieux comprendre dans quelles conditions le Soleil et le vent solaire, la magnétosphère, l'ionosphère et la thermosphère peuvent influencer sur le fonctionnement et la fiabilité des systèmes technologiques spatiaux et terrestres et mettre en danger la vie ou la santé humaines.

11. Le Comité international sur les systèmes mondiaux de navigation par satellite joue un rôle important dans les travaux de l'Initiative, les récepteurs desdits systèmes étant utilisés pour mieux comprendre les processus déclenchés dans l'atmosphère terrestre par des phénomènes extrêmes relevant de la météorologie de l'espace et par l'interaction Soleil-Terre, ainsi que leurs effets sur les satellites.

12. Comme les débats menés par le Sous-Comité scientifique et technique au titre du point de l'ordre du jour intitulé « Météorologie de l'espace » (voir [A/AC.105/1258](#), par. 158 à 172), 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 fournisseurs et les hôtes d'instruments. Les discussions tenues lors de l'atelier ont également porté sur le Programme de développement durable à l'horizon 2030 et sur les objectifs de développement durable n^{os} 4, 9 et 17.

B. Programme

13. À l'ouverture de l'atelier, des allocutions de bienvenue ont été prononcées par le Recteur de l'Université d'État de Bakou, le Ministre azerbaïdjanais des sciences et de l'éducation, la Vice-Ministre azerbaïdjanaise de la jeunesse et des sports, le Président du Conseil d'administration de l'Agence spatiale azerbaïdjanaise « Azercosmos », le Directeur de l'Observatoire d'astrophysique Nasiraddin Tusi Shamakhy, un professeur émérite de l'Université du Maryland et un représentant de la National Aeronautics and Space Administration des États-Unis (NASA). Des allocutions liminaires ont été prononcées par le représentant du Bureau des affaires spatiales et la représentante du secrétariat exécutif du Comité international sur les systèmes mondiaux de navigation par satellite. Enfin, des discours liminaires ont été prononcés par le professeur émérite de l'Université du Maryland et le représentant de la NASA.

14. Le programme de l'atelier comprenait huit séances techniques et des débats sur les observations et recommandations formulées, suivis des discours de clôture des coorganisateur. En tout, 57 exposés ont été faits durant les séances techniques, sur des sujets relevant des domaines suivants : a) les instruments et les données de météorologie de l'espace ; b) la modélisation de la météorologie de l'espace ; c) la recherche dans le domaine de la météorologie de l'espace ; d) la physique solaire ; e) le couplage magnétosphère-ionosphère-thermosphère ; f) les incidences de la météorologie de l'espace ; g) les programmes nationaux et régionaux de météorologie de l'espace ; et h) les études de cas et les programmes de sensibilisation et de formation théorique à la météorologie de l'espace.

15. Chacune des sessions techniques a donné lieu à un débat sur les principaux défis et problèmes évoqués dans les exposés. Les résultats des délibérations ont été résumés et présentés à la séance de clôture, au cours de laquelle un dernier échange de vues a eu lieu, et les conclusions et recommandations ont été adoptées.

16. Une visite technique d'information a également été organisée à Azercosmos à l'intention des participantes et participants.

17. Le programme avait été établi par le Bureau des affaires spatiales et l'Université d'État de Bakou en coopération avec le comité scientifique d'organisation de l'atelier. Les personnes désignées pour assurer la présidence et les fonctions de rapporteur des séances techniques ont communiqué leurs commentaires et remarques en vue de l'établissement du présent rapport.

18. Les exposés présentés à l'atelier et 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).

C. Participation

19. Le Bureau des affaires spatiales et l'Université d'État de Bakou ont invité des personnes issues du monde scientifique et technique et des membres du corps enseignant de pays en développement et de pays industrialisés de toutes les régions économiques à participer à l'atelier et à y apporter leur contribution. Ils les avaient choisis en fonction de leur formation en sciences, en ingénierie et en éducation, ainsi que de leur expérience dans la mise en œuvre de programmes et de projets dans lesquels l'Initiative jouait un rôle de premier plan.

20. Les fonds versés par l'Organisation des Nations Unies, le Gouvernement azerbaïdjanais 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 25 personnes venues de 23 pays. Les organisateurs avaient invité, en tout, 281 spécialistes à participer à l'atelier.

21. Les 65 États Membres suivants étaient représentés, en personne ou en ligne, à l'atelier : Algérie, Allemagne, Autriche, Azerbaïdjan, Bahreïn, Bangladesh, Belgique, Brésil, Burkina Faso, Cameroun, Chili, Chine, Colombie, Congo, Côte d'Ivoire, Croatie, Égypte, Espagne, Estonie, États-Unis d'Amérique, Éthiopie, Fédération de Russie, Gabon, Ghana, Guinée, Haïti, Inde, Indonésie, Iran (République islamique d'), Iraq, Italie, Japon, Kazakhstan, Kenya, Koweït, Lettonie, Liban, Malaisie, Malte, Maroc, Mexique, Mongolie, Myanmar, Népal, Nigéria, Ouganda, Pakistan, Pérou, Philippines, Pologne, République de Corée, République démocratique du Congo, République démocratique populaire lao, Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord, Sénégal, Serbie, Slovaquie, Somalie, Soudan, Sri Lanka, Tadjikistan, Türkiye, Venezuela (République bolivarienne du), Yémen et Zambie. Le Bureau des affaires spatiales y était également représenté.

II. Observations et recommandations

22. Les participantes et participants ont exprimé l'avis selon lequel les activités de recherche sur la météorologie de l'espace constituaient une des premières étapes vers la mise en œuvre d'un programme plus vaste de mesures destinées à protéger la Terre des dangers que représentait l'espace. Une discussion a eu lieu sur les moyens de faire face à ces dangers, notamment aux phénomènes extrêmes relevant de la météorologie de l'espace et à des événements tels que les super éruptions stellaires et les impacts d'astéroïdes, qui sont peu probables mais qui, s'ils venaient à se produire, auraient des conséquences graves.

23. Les participantes et participants ont noté que la fréquence des anomalies des engins spatiaux était généralement au plus haut quelques jours après le déclenchement d'un événement à particules énergétiques solaires dans l'espace circumterrestre ou la survenue brutale d'une tempête solaire. Dans un cas comme dans l'autre, les protons et les électrons énergétiques présents dans le milieu spatial interagissaient avec les composants des engins spatiaux, dont ils entraînaient la dégradation ou la perte.

24. Les participantes et participants ont aussi noté que les phénomènes liés à l'activité solaire, tels que les éruptions et les éjections de masse coronale, pouvaient avoir de graves répercussions sur l'environnement terrestre. Les observations réalisées conjointement à l'aide d'un interféromètre radio, du réseau basse fréquence LOFAR et de récepteurs radio spatiaux dans le cadre d'études consacrées aux éjections de masse coronale et aux électrons énergétiques responsables de sursauts d'ondes radio donnaient un tableau complet des différentes caractéristiques des éruptions et permettaient d'en évaluer les effets sur la Terre. Il a été souligné que les observations du Soleil à l'aide d'hyperfréquences restaient une des pratiques les plus courantes dans les domaines de la radioastronomie et de la physique solaire. Les participantes et participants ont reçu des informations sur les observations spectropolarimétriques du Soleil réalisées par le radiotélescope RT-32 au Ventspils International Radio Astronomy Centre. Ils ont en outre pu voir les résultats d'une étude sur les perturbations survenues dans la couche D de l'ionosphère réalisée à l'aide du récepteur très basse fréquence de l'Atmospheric Weather Electromagnetic System for Observation, Modeling and Education.

25. Les participantes et participants ont pris note du fait que les prévisions en matière de météorologie de l'espace étaient une question complexe qui supposait une modélisation du plasma solaire se déplaçant de la couronne solaire vers l'atmosphère terrestre. Des modèles coronaux, héliosphériques, ionosphériques et magnétosphériques étaient de ce fait nécessaires pour simuler le transfert d'énergie du Soleil à la Terre. De manière à pouvoir regrouper et relier tous ces modèles sur une

plateforme virtuelle et interactive de modélisation de la météorologie de l'espace, le Centre virtuel de modélisation de la météorologie de l'espace, qui regrouperait 19 modèles, était en train d'être créé. Enfin, les participantes et participants ont pris note de la modélisation d'un phénomène d'éjection de masse coronale reposant sur un nouveau modèle héliosphérique appelé Icarus et de la modélisation de la teneur totale en électrons au-dessus de l'Afrique grâce à des satellites de la Constellation d'observation pour la météorologie, l'étude de l'ionosphère et la climatologie.

26. Les participantes et participants ont aussi pris note des modèles moins sophistiqués mais plus rapides que sont le European Heliospheric Forecast Information Asset et un modèle magnétohydrodynamique coronal en trois dimensions (3D) appelé COCONUT, utilisés par les services opérationnels de météorologie de l'espace pour prévoir le vent solaire et la propagation des éjections de masse coronale dans l'héliosphère interne et leur éventuelle propagation jusqu'à la Terre. Il a en outre été dit que le modèle magnétohydrodynamique Gorgon avait été adapté pour simuler la magnétosphère globale à une vitesse supérieure au temps réel et qu'il permettait, par une modélisation et la mesure du vent solaire, de prévoir en continu les conditions géomagnétiques.

27. Les participantes et participants ont reçu des informations sur le modèle de densité électronique de l'ionosphère NeQuick2, qui a vocation à permettre aux applications de propagation transionosphériques de reproduire le comportement médian (autrement dit, le climat) de l'ionosphère et d'évaluer en 3D la densité électronique de l'ionosphère pour apprécier les conditions sur le moment (autrement dit, le temps). Le site Web du modèle NeQuick2 en ligne est accessible à l'adresse suivante : <https://t-ict4d.ictp.it/nequick2/nequick-2-web-model>.

28. Les participantes et participants ont aussi été informés de la création du réseau Monitors for Alaskan and Canadian Auroral Weather in Space, destiné à combler le manque de données sur la météorologie de l'espace. Il s'agit d'un réseau de capteurs en ligne qui fournit à la fois des données en temps réel et des données rétrospectives sur la teneur totale en électrons, la teneur différentielle en électrons et la scintillation des systèmes mondiaux de navigation par satellite. Toutes les données sont entrées dans la base de données Madrigal et mises à disposition en vue de leur traitement en temps quasi réel. Il a été noté que des cartes verticales de la teneur totale en électrons avaient été établies à partir de près de 6 000 récepteurs bifréquences des systèmes mondiaux de navigation par satellite. Les données relatives à la teneur totale en électrons étaient disponibles en ligne depuis 2000 et un nouveau produit, les fichiers de données sur la teneur totale en électrons le long de la ligne de visée, était accessible depuis trois ans. Ces fichiers de données donnent la teneur totale en électrons de chaque satellite et de chaque récepteur toutes les 30 secondes. Le site Web de la base de données Madrigal est accessible à l'adresse suivante : <http://cedar.openmadrigal.org>.

29. Les participantes et participants ont constaté que des volumes considérables de données étaient produits par des équipements terrestres et spatiaux destinés à surveiller le système Soleil-Terre. Outre le fait qu'ils contribuent à accroître les capacités de calcul, ces ensembles de données servent à produire des modèles prévisionnels et des produits de météorologie de l'espace. Il a été précisé qu'il était possible de recourir à l'apprentissage automatique pour définir des fonctions qui permettent de simuler des processus relevant de la météorologie de l'espace et de prévoir leurs manifestations dans le champ magnétique terrestre et l'ionosphère.

30. S'agissant des applications de la recherche relative à la météorologie de l'espace, il a été indiqué que les systèmes technologiques et les activités de la civilisation moderne pouvaient être perturbés par l'évolution des manifestations de la météorologie de l'espace. L'étude de toute chose, de la dynamique du Soleil et de l'atmosphère solaire aux particules et aux champs magnétiques de l'espace circumterrestre, aidait à appréhender les processus physiques à l'œuvre dans le milieu spatial, ce qui permettait de faire de meilleures simulations et de mettre au point des modèles prévisionnels plus adéquats de ce système complexe et, *in fine*, de mieux protéger la technologie, ainsi que d'alerter suffisamment tôt les exploitants d'engins

spatiaux des dangers que présentait l'intensification des phénomènes relevant de la météorologie de l'espace.

31. Les participantes et participants ont reconnu que la recherche sur la météorologie de l'espace tirait bénéfice d'une coordination et d'une collaboration efficaces sur le plan international, qui se traduisaient par l'échange et l'utilisation des données d'observation disponibles, l'évaluation des capacités de prévision et d'analyse, la promotion de la connaissance, de la théorie et de la modélisation et l'application des progrès de la recherche à la météorologie de l'espace.

32. Les participantes et participants ont reçu des informations sur une étude consacrée aux variations temporelles et périodiques de l'indice mensuel des éruptions et de certains indicateurs de l'activité géomagnétique, tels que l'indice global simple de l'activité géomagnétique et l'indice DST concernant les cycles 21 à 24 (autrement dit de 1976 à 2019). Les résultats de cette étude montraient que tous les paramètres étaient étroitement corrélés avec la période d'activité solaire de 11 ans et que les variations de l'indice des éruptions étaient un des principaux facteurs de l'activité géomagnétique.

33. Les participantes et participants ont aussi reçu des informations sur des événements rares, tels que l'événement de Carrington, survenu en 1859, et d'hypothétiques super éruptions, qui se produisent généralement sur des étoiles analogues au Soleil qui présentent de grandes taches (d'un tout autre ordre de grandeur que les plus grandes taches solaires).

34. Les participantes et participants ont fait observer que le plasma de la couronne solaire et celui du vent solaire étaient connus pour être structurés autour du champ magnétique, ce qui donnait à penser qu'une turbulence unidirectionnelle pourrait jouer un rôle dans ces régions. Il a été dit qu'un projet de recherche sur de nouvelles simulations numériques en 3D de la propagation d'ondes transversales était actuellement mené afin de mieux comprendre la physique des turbulences et que ses résultats seraient vérifiés au regard des résultats d'observations.

35. Les participantes et participants ont estimé que le mécanisme de formation à grande échelle du champ magnétique des étoiles, y compris le cycle solaire de 11 ans, était généralement compris. Toutefois, l'équilibre entre l'hélicité hydrodynamique et magnétique et le transport de l'énergie le long du spectre devait encore être étudié. À cet égard, l'avis a été exprimé selon lequel il pourrait être recouru au modèle en couches pour étudier le transport à petite échelle de l'énergie le long du spectre, de même que pour traiter le problème de la stabilisation des processus dynamos stellaires à grande échelle.

36. Les participantes et participants ont pris note des activités menées sous l'égide du Comité international sur les systèmes mondiaux de navigation par satellite. Il a été noté que les groupes de travail du Comité étudiaient les problèmes posés par les phénomènes relevant de la météorologie de l'espace, les conséquences de ces phénomènes pour l'utilisation des systèmes mondiaux de navigation par satellite, la variabilité de ces conséquences et les mesures qui pourraient les atténuer. L'attention a été appelée sur les activités du Groupe de travail sur la diffusion d'informations et le renforcement des capacités et de son équipe chargée du projet de surveillance de la météorologie de l'espace à l'aide de systèmes de récepteurs des systèmes mondiaux de navigation par satellite à faible coût. Les participantes et participants ont noté que l'équipe du projet travaillerait à la mise au point de systèmes prototypes afin d'étudier les possibilités d'utilisation de tels systèmes de récepteurs à faible coût pour la surveillance de la météorologie de l'espace.

37. Les participantes et participants ont également noté que les trois principaux axes des travaux de l'équipe du projet consisteraient : a) à recenser les récepteurs à faible coût des systèmes mondiaux de navigation par satellite, susceptibles d'être utilisés pour calculer les paramètres relatifs à la teneur totale en électrons ; b) à répertorier les logiciels susceptibles d'être utilisés pour traiter les données provenant de récepteurs des systèmes mondiaux de navigation par satellite à faible coût et calculer

la teneur totale en électrons ; et c) à mettre au point un prototype de récepteur de système mondial de navigation par satellite à faible coût pour des applications de météorologie de l'espace. Il a été rappelé que l'équipe du projet était ouverte aux personnes et aux groupes désireux de participer activement à ses activités. Quelques participantes et participants se sont dits intéressés.

38. Les participantes et participants ont fait observer que des instruments et des techniques de télédétection très variés étaient utilisés pour sonder les régions qui s'étendaient de la proximité de la surface du Soleil à la couche inférieure de l'ionosphère. Des participantes et participants ont estimé qu'à l'avenir, il serait souhaitable d'étudier davantage d'exemples de phénomènes relevant de la météorologie de l'espace dans les ateliers.

39. L'avis a été exprimé selon lequel des ateliers pratiques assortis de tutoriels et d'exercices portant sur des disciplines particulières de la météorologie de l'espace devraient être organisés en amont des futurs ateliers de l'Initiative internationale sur la météorologie de l'espace. L'accent a également été mis sur l'importance du suivi de la formation dans une optique de formation continue et d'entretien durable des compétences de base.

40. Les participantes et participants ont recommandé que les pays qui souhaitaient s'engager dans l'étude et l'enseignement de la météorologie de l'espace continuent de bénéficier de conseils techniques et d'un appui en matière de renforcement des capacités. Il fallait aussi que les spécialistes de la technique et de l'ingénierie acquièrent des connaissances plus approfondies des stations terrestres et des instruments d'observation de la météorologie de l'espace. Il a été dit qu'il faudrait développer encore les possibilités de partenariats de longue durée en matière de renforcement des capacités au sein de l'Organisation des Nations Unies.

41. Il a été dit que 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 avec le programme du Comité international sur les systèmes mondiaux de navigation par satellite relatif aux applications de ces systèmes.

42. Les participantes et participants ont été informés que la revue *Sun and Geosphere* allait publier un numéro spécial sur les influences du Soleil sur la magnétosphère, l'ionosphère et l'atmosphère d'ici à la fin de 2022. Ils ont été invités à soumettre les résultats de leurs recherches sur la météorologie de l'espace et la physique de l'ensemble Soleil-Terre.

43. Les participantes et participants ont remercié l'Organisation des Nations Unies, le Gouvernement azerbaïdjanais, l'Université d'État de Bakou et les parrains de cette manifestation pour le contenu, l'excellente organisation et le succès de l'atelier.