



Assemblée générale

Distr. générale
23 novembre 2023
Français
Original : anglais

Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique

Rapport de l'atelier ONU/Finlande sur les applications des systèmes mondiaux de navigation par satellite

(Helsinki, 23-26 octobre 2023)

I. Introduction

1. L'expression « système mondial de navigation par satellite » (GNSS) désigne collectivement les systèmes de navigation par satellite exploités ou en cours d'élaboration dans le monde, notamment le Système mondial de localisation (GPS) des États-Unis d'Amérique, le Système mondial de satellites de navigation (GLONASS) de la Fédération de Russie, le système de navigation par satellite BeiDou de la Chine et le Système européen de navigation par satellite (Galileo). Ces systèmes sont complétés par des systèmes de renforcement spatiaux ou terrestres. Parmi les systèmes de renforcement spatiaux figurent le Système de renforcement à couverture étendue des États-Unis, le Système russe de correction et de surveillance différentielles, le Système européen de navigation par recouvrement géostationnaire, le Système géostationnaire de navigation renforcée assistée par GPS de l'Inde et le système japonais de renforcement satellitaire Michibiki. L'utilisation de plusieurs ou de l'ensemble des GNSS en orbite permet généralement d'obtenir une productivité et une précision plus grandes que celles offertes par l'utilisation d'un seul de ces systèmes.

2. Le nombre croissant de GNSS et les avantages économiques, sociaux et scientifiques qu'ils procurent à l'humanité ont conduit à la création, en 2005, du Comité international sur les systèmes mondiaux de navigation par satellite (ICG), sous l'égide de l'Organisation des Nations Unies. Le Bureau des affaires spatiales, en sa qualité de secrétariat exécutif de l'ICG, aide à faire progresser la compatibilité et l'interopérabilité de tous les systèmes de navigation par satellite. Au fil de l'émergence de nouveaux systèmes, la compatibilité et l'interopérabilité des signaux entre les différents GNSS et la transparence dans la fourniture de services civils ouverts sont essentielles pour faire en sorte que les utilisateurs civils du monde entier bénéficient au maximum de ces systèmes et de leurs applications. De plus amples informations sont disponibles sur le portail d'information de l'ICG (www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/icg/icg.html).

3. L'atelier ONU/Finlande sur les applications des systèmes mondiaux de navigation par satellite a été organisé par le Bureau des affaires spatiales en coopération avec le Bureau national de topographie de Finlande, au nom du Gouvernement finlandais. Il s'est tenu à Helsinki du 23 au 26 octobre 2023. Il était coorganisé et coparrainé par l'ICG, l'Institut météorologique finlandais, l'Université



de Vaasa, le Nordic Institute of Navigation et u-blox. Il bénéficiait de l'appui de la ville d'Helsinki.

4. Le présent rapport décrit le contexte de l'atelier, en expose les objectifs et le programme et résume les temps forts de chaque session et les observations des personnes qui y ont participé. Il a été établi pour être présenté au Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique à sa soixante-septième session et pour être examiné par le Sous-Comité scientifique et technique à sa soixante et unième session, qui se tiendront toutes deux en 2024.

A. Contexte et objectifs

5. Depuis 2001, le Bureau des affaires spatiales organise des ateliers régionaux afin de démontrer l'intérêt des GNSS à la communauté mondiale et d'encourager l'intégration de la technologie GNSS dans l'infrastructure de base des pays développés et en développement. Le Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique a adopté le thème « Évolutions récentes des systèmes mondiaux de navigation par satellite » en tant que question ordinaire inscrite à son ordre du jour en 2007. Au titre de ce point, le Comité et son Sous-Comité scientifique et technique examinent les questions liées aux dernières évolutions des GNSS et à leurs nouvelles applications.

6. Conformément à l'examen par le Sous-Comité scientifique et technique, à sa soixantième session, du point de l'ordre du jour intitulé « Évolutions récentes des systèmes mondiaux de navigation par satellite » (voir [A/AC.105/1279](#), par. 129 à 151), les principaux objectifs de l'atelier étaient les suivants : a) renforcer l'échange d'informations entre les pays et accroître les capacités de la région à poursuivre l'application des solutions GNSS ; b) partager des informations sur les projets et initiatives nationaux, régionaux et mondiaux qui pourraient bénéficier aux régions ; et c) favoriser une interaction fructueuse entre ces projets et initiatives. Les discussions tenues lors de l'atelier ont également porté sur les objectifs de développement durable.

B. Programme

7. À l'ouverture de l'atelier, des déclarations d'introduction et de bienvenue ont été prononcées par le représentant du Bureau national de topographie de Finlande et la représentante de l'Université de Vaasa. La représentante du Bureau des affaires spatiales a également fait des remarques liminaires.

8. L'atelier a compris les sessions techniques suivantes, qui couvraient un large éventail de sujets liés à la technologie des GNSS et à ses applications : a) GNSS et systèmes de renforcement satellitaires actuels et prévus ; b) applications des GNSS : études de cas ; c) données issues des GNSS ; d) positionnement, navigation et synchronisation en orbite terrestre basse ; e) technologies de positionnement, de navigation et de synchronisation résilientes ; f) programmes et projets nationaux liés aux GNSS ; g) technologie GNSS ; h) expériences nationales en matière d'utilisation des GNSS ; i) effets de la météorologie de l'espace sur la navigation GNSS et les services connexes ; et j) les GNSS au service de la surveillance et de la recherche concernant la météorologie de l'espace. Au total, 61 présentations ont été faites pendant cet atelier de quatre jours. Les participantes et participants ont été choisis en fonction de leur formation scientifique ou technique, de la qualité des résumés des communications qu'ils proposaient et de leur expérience de programmes et de projets d'utilisation des GNSS et de leurs applications.

9. Une visite technique de la Station de recherche géodésique de Metsähovi a été organisée à l'intention des personnes participantes par l'Institut finlandais de recherche géospatiale du Bureau national de topographie. Située à 60 degrés de latitude nord, cette station est l'une des stations géodésiques les plus septentrionales

du réseau d'infrastructure du Système mondial d'observation géodésique de l'Association internationale de géodésie.

10. Le programme de l'atelier avait été élaboré par le Bureau des affaires spatiales, le Bureau national de topographie de Finlande et l'Université de Vaasa.

11. Les exposés présentés et les résumés des communications ainsi que le programme de l'atelier sont disponibles sur le site Web du Bureau des affaires spatiales (www.unoosa.org).

C. Participation

12. Au total, 118 spécialistes représentant des agences spatiales nationales, le monde universitaire, des institutions de recherche, des organisations internationales et le secteur industriel de pays en développement aussi bien que de pays développés concernés par le développement et l'utilisation des GNSS pour des applications pratiques et l'exploration scientifique étaient invités à participer à l'atelier.

13. Les fonds alloués par l'Organisation des Nations Unies, l'ICG et le Bureau national de topographie de Finlande ont servi à couvrir les frais de voyage par avion et les indemnités journalières de subsistance de 24 participantes et participants.

14. Les 31 États Membres suivants étaient représentés à l'atelier : Algérie, Allemagne, Belgique, Canada, Chili, Chine, Chypre, Colombie, Côte d'Ivoire, Croatie, Égypte, Espagne, États-Unis, Éthiopie, Finlande, France, Inde, Indonésie, Kenya, Mexique, Mongolie, Népal, Nigéria, Norvège, Philippines, Pologne, République de Corée, République démocratique populaire lao, Soudan, Tchèque et Thaïlande. Le Bureau des affaires spatiales était également représenté.

II. Résumé des débats, observations et conclusions

15. Grâce aux présentations et aux échanges de vues qui ont eu lieu pendant l'atelier, les participantes et participants ont fait connaître les problèmes et les possibilités liés à l'utilisation des GNSS pour diverses applications qui pourraient offrir des avantages sociaux et économiques durables, en particulier pour les pays en développement. Chacune des sessions techniques comprenait un débat sur les principaux défis et problèmes présentés. Les débats ont confirmé que le fait d'avoir recours à une combinaison de plusieurs systèmes pouvait sensiblement améliorer de nombreuses applications, car l'utilisation d'un nombre accru de satellites renforçait la géométrie orbitale, ce qui se traduisait par une plus grande précision et une couverture plus large des signaux GNSS.

16. Les personnes participant à l'atelier ont noté que le signal L1C, émis dans la bande L1, avait été conçu spécifiquement pour permettre l'interopérabilité entre le Système mondial de localisation et d'autres GNSS et favorisait une plus grande coopération entre les fournisseurs de GNSS du monde entier. Le signal L2C, lorsqu'il était associé au code d'acquisition grossière L1 dans un récepteur à double fréquence, permettait d'effectuer une correction ionosphérique, ce qui pouvait accroître la précision du GPS. Enfin, le signal L5 serait utilisé pour la sauvegarde de la vie humaine dans le cadre des transports et pour d'autres applications exigeantes telles que l'aviation. Utilisé en combinaison avec les signaux L1C et L2C, le signal L5 offrirait un service très solide, et permettrait une précision inférieure à un mètre sans renforcement et des opérations à très longue portée avec renforcement. Il a également été noté que l'émission d'un signal permettant une acquisition grossière dans Galileo (E5a) et dans le GPS (L5) pourrait distinguer Galileo de toutes les autres constellations, dont la capacité d'acquisition du signal E5 à faible complexité pourrait encore être améliorée. Il a par ailleurs été fait observer que de nouvelles applications du système de navigation par satellite BeiDou offrant une précision de positionnement élevée étaient actuellement mises au point et exploitées avec d'autres GNSS, ainsi qu'avec plusieurs systèmes de renforcement spatiaux.

17. Les personnes participant à l'atelier ont noté que la dépendance croissante à l'égard des GNSS avait accru l'intérêt que suscitaient l'authentification, la validité et la sécurité de leurs signaux, ce qui constituait un défi en raison des ingérences extérieures. Il a été relevé qu'à l'heure actuelle, aucun des signaux ouverts ou des signaux civils des GNSS n'était protégé contre le leurrage. Ce souci n'avait pas été pris en compte dans leur conception. On a également fait état de la mise au point de méthodes permettant d'authentifier les signaux du système satellitaire Quasi-Zenith (QZSS) et d'utiliser ce dernier pour l'authentification des signaux du GPS et de Galileo. Cette méthode pourrait également être appliquée à d'autres signaux ouverts de GNSS, comme ceux du système de navigation par satellite BeiDou. Elle reposait sur la diffusion de la signature numérique intégrée dans l'un des signaux du QZSS pour l'authentification des signaux du GPS et de Galileo, ce qui entraînait la mise en œuvre de capacités anti-leurrage pour les signaux ouverts.

18. Les personnes participant à l'atelier ont appris que la disponibilité des signaux du Système régional indien de navigation par satellite (IRNSS) dans trois bandes (L5, S, L1) permettrait d'améliorer la diversité des observations et la modélisation du phénomène ionosphérique. Il a aussi été démontré qu'il était possible d'utiliser les signaux de l'IRNSS transmis dans la bande L5, depuis l'espace, par les satellites géostationnaires et géosynchrones inclinés pour surveiller la surface terrestre à l'aide d'un récepteur de réflectométrie IRNSS spatial ou aéroporté.

19. Les participantes et participants ont également été informés du programme de développement du Korea Positioning System et du système coréen de renforcement par satellite (Korea Augmentation Satellite System), conçus pour fournir des signaux GNSS aux utilisateurs de la péninsule coréenne et de la région environnante et destinés à un large éventail d'applications, notamment dans les domaines des transports, de la navigation et de la réalisation de levés.

20. Les personnes participant à l'atelier ont noté que face à l'évolution rapide des systèmes de renforcement spatiaux dans le monde entier, plusieurs initiatives portant sur ces systèmes étaient en cours d'élaboration en Afrique, l'objectif étant de doter le continent d'un système unique. Un projet phare intitulé « SBAS Afrique » ouvrait la voie à un service opérationnel de système de renforcement satellitaire qui bénéficierait à de nombreux secteurs, tels que la navigation maritime, l'agriculture de précision et l'aviation.

21. Les personnes participantes ont pris note de projets axés sur la spécification de la qualité et la configuration des données de surveillance dépendante automatique en mode diffusion et sur la détection de toute erreur ou anomalie provenant de modes de défaillance potentiels. Une démonstration a été faite concernant les résultats de la reconstruction et de l'analyse de trajectoires faisant appel aux GNSS en tant que cas d'inférence par apprentissage automatique de la pertinence de la contribution au traitement des signaux dans la navigation aérienne, la gestion du trafic aérien, la navigation de surface, la logistique et l'élaboration de stratégies.

22. Les participantes et participants ont également constaté que les systèmes spatiaux de positionnement, de navigation et de synchronisation tendaient désormais largement à exploiter pour leurs services les signaux des satellites à orbite terrestre basse en raison des avantages potentiels que les orbites terrestres basses pouvaient apporter aux GNSS. Il a également été signalé que dans le cadre du volet du programme FutureNAV consacré au positionnement, à la navigation et à la synchronisation en orbite terrestre basse, une démonstration de bout en bout en orbite serait mise au point en vue de démontrer les avantages du programme pour les utilisateurs finals sur le plan des performances et des nouveaux services à valeur ajoutée. Des informations ont été apportées sur le projet INCUBATE, portant sur la navigation intérieure à l'aide de la technologie CubeSat, qui vise à promouvoir l'exploitation de petits satellites à orbite terrestre basse pour obtenir des renseignements précis sur la position, la navigation et la synchronisation dans des conditions difficiles, et à étudier comment ces renseignements pourraient être obtenus dans des environnements intérieurs. Des informations ont également été fournies au

sujet du système de renforcement en orbite terrestre basse CentiSpace, destiné à la mise en place d'une surveillance de l'intégrité mondiale et au renforcement des signaux GNSS.

23. Les présentations faites lors de l'atelier ont également porté sur la résilience des technologies de positionnement, de navigation et de synchronisation, ainsi que sur la convergence de ces technologies avec des technologies non traditionnelles et nouvelles aux fins d'amélioration de la fiabilité, des performances et de la sécurité des applications d'importance critiques dans les airs, sur terre, en mer et dans l'espace. Les personnes participantes ont été renseignées sur l'utilisation de l'apprentissage automatique avancé pour la détection des anomalies et la localisation des brouilleurs, les approches permettant de mettre des signaux horaires précis transmis par fibre optique à la disposition d'un plus grand nombre d'utilisateurs à distance, et les moyens d'améliorer la précision des diffusions à distance de signaux horaires en basse fréquence. Il a également été fait état des dernières évolutions en matière de structures des signaux de brouillage.

24. La session consacrée aux études de cas et aux programmes nationaux a donné aux participantes et participants une occasion supplémentaire de faire part de leur expérience de l'utilisation et des applications des GNSS.

25. Les personnes participant à l'atelier ont noté que les points faibles des GNSS étaient bien connus et que la météorologie de l'espace était considérée comme la principale responsable des erreurs des GNSS en monofréquence. Parmi les principaux effets de la météorologie spatiale sur ces systèmes, on pouvait citer les erreurs de mesure et la perte du signal en réception. Les GNSS devaient relever plusieurs défis scientifiques et techniques pour répondre à des besoins utilisateurs de plus en plus complexes. Il convenait notamment de concevoir des récepteurs résistant à la scintillation et d'améliorer la qualité des prévisions sur l'état de l'ionosphère. Grâce à la modernisation de ces systèmes, l'utilisation de signaux supplémentaires devrait permettre de réduire les erreurs provoquées par cette couche de l'atmosphère.

26. Les personnes participantes ont pris connaissance du système de météorologie de l'espace de l'Agence spatiale européenne, de ses objectifs et de son état d'avancement actuel, ainsi que de la manière dont le système avait été conçu pour atténuer les effets de la météorologie de l'espace sur les infrastructures et les services dépendant largement des biens spatiaux. De plus amples informations sont disponibles sur le site Web du réseau de services de météorologie de l'espace de l'Agence spatiale européenne (<https://swe.ssa.esa.int/>).

27. Des présentations sur l'incidence de la météorologie de l'espace sur le fonctionnement des infrastructures critiques facilitant la vie quotidienne ont souligné que les observations des GNSS étaient largement utilisées dans les services de météorologie de l'espace pour surveiller l'évolution spatio-temporelle des perturbations ionosphériques, bien que ces systèmes puissent eux-mêmes être occasionnellement soumis aux effets de tempêtes géomagnétiques. À l'approche du prochain maximum solaire – prévu au début de 2024 selon les estimations actuelles – l'intensification de l'activité orageuse ne serait pas le seul facteur à compromettre les performances des GNSS. Il a été noté qu'à long terme, l'évolution progressive des conditions ionosphériques pourrait également remettre en question certaines solutions mises au point et testées pendant les années de faible activité solaire. Outre les difficultés et les risques, les personnes participantes ont également réfléchi aux moyens de les atténuer, en mettant l'accent sur les différents services de surveillance et de prévision de la météorologie de l'espace.

28. Les participantes et participants ont souligné que les performances des systèmes de récepteurs GNSS à faible coût dans le domaine du positionnement de haute précision avaient progressé jusqu'à atteindre un niveau comparable à celui des récepteurs GNSS haut de gamme. Il était possible d'acquérir des récepteurs GNSS à double ou triple fréquence, antenne comprise, pour moins d'un millier de dollars. Il a été indiqué que pour évaluer les performances des systèmes à faible coût dans le calcul de la teneur totale en électrons et de l'indice de variation de cette teneur (indice

ROTI), des observations avaient été réalisées à partir de quatre systèmes de récepteurs GNSS différents (haut de gamme et à faible coût). Les données avaient été enregistrées pendant plusieurs jours et analysées de façon distincte à l'aide de deux types de logiciels différents. Dans les deux cas, les résultats avaient montré que les systèmes à faible coût produisaient des résultats conformes à ceux des systèmes haut de gamme. Il a été signalé qu'il serait procédé à d'autres études en enregistrant des données à l'aide de différents types d'antennes, en ajoutant des récepteurs supplémentaires et en utilisant différents types de logiciels.

29. Les personnes participant à l'atelier ont noté que la sous-commission sur les nouvelles technologies de positionnement et le renforcement des GNSS de l'Association internationale de géodésie avait proposé de constituer en son sein un nouveau groupe de travail qui se concentrerait sur l'utilisation de systèmes de récepteurs GNSS à faible coût pour le positionnement, la navigation et la synchronisation de haute précision et les applications associées. Il a été indiqué que le coût total de ces systèmes de récepteurs devrait être de quelques centaines de dollars, tous composants nécessaires compris, et qu'ils devraient être faciles à utiliser sur le terrain, sans demander de connaissances spécialisées. Ce type de système favoriserait le renforcement des capacités et la conception de nouvelles applications à grande échelle. Il a également été noté que le groupe de travail proposé coopérerait avec l'équipe de projet sur la surveillance de la météorologie de l'espace à l'aide de systèmes de récepteurs GNSS à faible coût, qui dépend du Groupe de travail de l'ICG sur la diffusion de l'information et le renforcement des capacités, et qu'il ferait par ailleurs la promotion des avancées du projet du Groupe de travail lors des manifestations de l'Association internationale de géodésie et appuierait l'élaboration de prototypes de systèmes de récepteurs destinés aux stations de base et aux astromobiles.

30. Pendant les débats, des indications ont été fournies sur la façon dont les institutions pourraient collaborer dans le cadre de partenariats régionaux pour partager et transférer les connaissances et concevoir des activités conjointes et des propositions de projets. Les participantes et participants se sont déclarés satisfaits de l'atelier, précisant que les sujets abordés répondaient à leurs besoins et attentes professionnels.

31. Les participantes et participants ont remercié l'Organisation des Nations Unies, le Gouvernement finlandais et les coorganisateurs pour l'excellente organisation et le contenu de l'atelier.
