



NOTE DE TRAVAIL

DOUZIÈME CONFÉRENCE DE NAVIGATION AÉRIENNE

Montréal, 19 – 30 novembre 2012

Point 6 : Direction future

6.1 : Plans et méthodologies de mise en œuvre

**APPROCHE D'UNE MISE EN ŒUVRE GNSS HARMONISÉE À
L'ÉCHELLE MONDIALE — PERSPECTIVES DE MENACE IONOSPHERIQUE
ET DE PHÉNOMÈNES SPATIAUX**

(Note présentée par le Japon)

SOMMAIRE

Le *Plan mondial de capacité et d'efficacité de la navigation aérienne* (GANP, Doc 9750) a défini le système mondial de navigation par satellite (GNSS) comme une technologie fondamentale qui permettra la navigation basée sur performances (PBN), l'exploitation basée sur trajectoire (TBO) et d'autres améliorations de l'ATM à travers l'évolution de la technologie GNSS.

Étant donné l'importance d'une bonne évaluation et de mesures pour contrer les problèmes ionosphériques et autres aspects de phénomènes spatiaux, il faut que la mise en œuvre mondialement harmonisée du GNSS soit entreprise de façon efficace et économique grâce à une étroite collaboration entre les États ou entre les États et l'industrie.

La présente note porte sur les problèmes ionosphériques et les phénomènes spatiaux qui agissent sur la mise en œuvre du GNSS et son application dans le créneau envisagé d'améliorations par blocs du système aéronautique dans le GANP, et elle suggère des mesures pour compléter celles qui concernent la vulnérabilité du GNSS, selon la note WP/21 relative aux aspects de mise en œuvre du GNSS.

Suite à donner : La Conférence est invitée à accepter la recommandation du paragraphe 3.

1. INTRODUCTION

1.1 Le système mondial de navigation par satellite (GNSS) est considéré comme une infrastructure de navigation fondamentale à l'appui de la navigation basée sur performances (PBN) et des opérations basées sur trajectoire (TBO) ainsi que d'autres perfectionnements de la gestion du trafic aérien (ATM) qui contribuent à rehausser la capacité et l'efficacité du transport aérien.

1.2 La note WP/21 explique les détails techniques de la vulnérabilité du GNSS attribuable à des phénomènes dans l'espace, notamment anomalies ionosphériques, et présente une suggestion sur les mesures que l'OACI et les États doivent prendre pour la mise en œuvre efficace du GNSS. Afin de réaliser un environnement GNSS futur pour PBN et autres perfectionnements de l'ATM basés sur GNSS à l'échelle sous-régionale ou régionale, il faut résoudre des problèmes de vulnérabilité causés par les anomalies ionosphériques, dans la mesure où ils nuisent à la mise en œuvre et au fonctionnement du GNSS.

1.3 Autre aspect qui intéresse ceux qui travaillent sur le GNSS : les phénomènes spatiaux, expliqués dans la note WP/21, peuvent causer une dégradation des systèmes CNS et des risques de radiation pour les êtres humains et l'avionique. Des recherches ont été entreprises dans plusieurs États pour étudier le mécanisme des différents phénomènes et l'impact opérationnel sur l'aviation. Dans le cadre de l'OACI, les questions de phénomènes spatiaux sont examinées par des organismes d'experts techniques ou sur une base régionale.

1.4 Dans l'optique de la mise en œuvre régulière du GNSS dans le créneau ASBU 2013-2028, il faut que les États, les fournisseurs de services de navigation aérienne et l'industrie poursuivent l'étude de la menace ionosphérique et d'autres phénomènes spatiaux, qui ont des effets sur le service de navigation harmonisé basé sur GNSS, à une échelle dépassant un État ou une région.

2. DISCUSSION

2.1 Effets ionosphériques sur le GNSS

2.1.1 Lorsqu'ils mettent en œuvre le GNSS dans un espace aérien donné pour leurs besoins opérationnels individuels, les fournisseurs de services et les réglementateurs sont tenus non seulement d'avoir des connaissances spécialisées adéquates, mais aussi de prendre des mesures appropriées pour combattre les effets ionosphériques sur le GNSS. Étant donné que le comportement et les caractéristiques ionosphériques qui influent sur la performance du GNSS varient d'une région à l'autre, notamment en fonction de la latitude magnétique, les caractéristiques ionosphériques devraient être évaluées compte tenu des différences régionales (voir Appendice A et WP/21).

2.1.2 Pour aider ceux qui ont besoin d'une plate-forme GNSS, les effets ionosphériques sur le GNSS ont été étudiés par l'OACI et traités dans des documents de l'OACI, notamment le *Manuel du système mondial de navigation par satellite (GNSS)* (Doc 9849) et le *Rapport relatif aux effets ionosphériques sur les applications aéronautiques du GNSS* par le groupe d'experts des systèmes de navigation. D'autres études sont en cours pour l'exploration des sujets.

2.2 Examen des effets ionosphériques sur le GNSS dans les ASBU

2.2.1 Selon les feuilles de route technologiques du GANP et les perspectives de grands projets GNSS (voir WP/21), des GNSS multi-fréquences et multi-constellations (MF-MC) sont envisagés pour un début entre la deuxième moitié du bloc 1 (2018-22) et la première moitié du bloc 2 (2023-27). Théoriquement, le GNSS MF-MC peut contribuer à atténuer les vulnérabilités liées aux anomalies ionosphériques (voir paragraphe 2 et Appendice B, WP/21).

2.2.2 Toutefois, le développement modéré du GNSS adapté MF-MC, y compris l'avionique, et l'incertitude dans la disponibilité d'une solution technique pour la période envisagée, jettent des doutes sur le déploiement à temps d'un GNSS MF-MC. Les GNSS sur l'actuelle avionique simple fréquence et simple constellation (SF-SC), maintenant généralisée dans le monde, devraient normalement continuer

d'être en service jusqu'à ce que l'environnement GNSS MF-MC soit adéquatement déployé dans le contexte mondial.

2.2.3 Aussi longtemps que les services basés sur GNSS SF-SC seront nécessaires, il est essentiel de caractériser comment l'ionosphère se comporte et dans quelle mesure l'ionosphère peut influencer la conception et le développement du GNSS. Même lorsque des systèmes basés sur GNSS MF-MC seront disponibles, la caractérisation ionosphérique devrait rester une base importante pour assurer que ces systèmes atténuent suffisamment les impacts ionosphériques.

2.3 **Approches régionales et mondiales pour l'atténuation des impacts ionosphériques**

2.3.1 La note WP/21 recommande que l'OACI et les États agissent pour réduire la probabilité que les effets ionosphériques perturbent les signaux GNSS. La caractérisation ionosphérique est indispensable pour la conception d'une solution technique d'atténuation de la vulnérabilité du GNSS liée à l'ionosphère.

2.3.2 Pour obtenir une caractérisation ionosphérique plus fiable, il est crucial d'obtenir suffisamment de données observées sous les formes appropriées dans la région où les services GNSS doivent être mis en œuvre. Pour que la caractérisation de l'ionosphère soit efficace et qu'elle soit compatible et fiable à travers États/FIR, la collecte et la communication de données devraient être effectuées de façon coordonnée par les États situés dans la même zone de latitude magnétique. Des initiatives régionales, si elles sont convenablement combinées, contribueront à une caractérisation ionosphérique coordonnée dans le monde, qui viendra appuyer la mise en œuvre harmonisée du GNSS et de la navigation basée sur GNSS.

2.3.3 Le Japon, souscrivant à une approche collaborative pour attaquer le défi GNSS régional, a entrepris de travailler sur la caractérisation des anomalies ionosphériques pour les applications GNSS en navigation aérienne et il est devenu un chef de file dans des activités régionales pertinentes. ENRI (Electronic Navigation Research Institute), un organisme de recherche sur CNS/ATM au Japon, travaille depuis longtemps sur la menace ionosphérique et contribue à des rencontres internationales aussi bien qu'à des rencontres nationales sur ce sujet.

2.3.4 Dans la région Asie et Pacifique, une équipe spéciale sur les études ionosphériques (ISTF) a été constituée dans le cadre d'un sous-groupe communications, navigation, surveillance et météorologie (CNS/MET SG) du groupe Asie/Pacifique de planification et de mise en œuvre de la navigation aérienne (APANPIRG) en vue d'une caractérisation ionosphérique d'ici à 2014, pour application dans la région (voir Appendice B). Ainsi, les États concernés peuvent éviter des doubles emplois dans les travaux et contribuer à des services GNSS harmonisés dans les États/FIR. Cela devrait être profitable pour les États, les fournisseurs de services, les utilisateurs de l'espace aérien et les fabricants de GNSS.

2.3.5 Les questions ionosphériques intéressent beaucoup le groupe de travail international GPAS (IGWG), un groupe bénévole qui étudie différents aspects du GBAS, composé de réglementateurs, de fournisseurs de services, d'organismes de l'industrie et d'instituts de recherche. Un sous-groupe de IGWG procède à des études ionosphériques coordonnées pour GBAS. Le Japon participe à cette activité et fait la liaison entre IGWG et NSP OACI.

2.3.6 Les données ionosphériques collectées dans des conditions perturbées sont particulièrement importantes lorsque les fournisseurs de services assurent le service GNSS pendant toute la période dans un espace aérien donné. L'ionosphère est perturbée plus souvent et plus fortement durant une période de forte activité solaire, dont on attend un pic dans les prochaines années et ensuite onze ans

plus tard. À la lumière de l'observation du paragraphe 2.2, il est recommandé que le GNSS soit développé et déployé, avec une évaluation adéquate de la perturbation solaire de l'ionosphère sans manquer l'occasion d'une fois sur dix.

2.3.7 La participation des États dans l'activité de caractérisation ionosphérique peut enrichir leur expertise et leur expérience pratique, que les États concernés devraient acquérir pour certifier et/ou approuver la conception et l'utilisation du GNSS, y compris l'avionique, les procédures basées sur GNSS et l'activité aérienne dans leur propre juridiction.

2.4 Informations de phénomènes spatiaux pour GNSS

2.4.1 Les phénomènes spatiaux peuvent se définir comme étant les conditions sur le soleil et dans le vent solaire, la magnétosphère, l'ionosphère et la thermosphère, qui peuvent influencer sur la performance et la fiabilité de systèmes technologiques basés dans l'espace et au sol et peuvent mettre en danger la vie ou la santé des navigants et des passagers (voir paragraphe 3.9 et l'Appendice A de la note WP/21).

2.4.2 L'utilisation d'informations sur les phénomènes spatiaux s'est manifestée en termes de son application dans une exploitation aérienne sûre et efficace. Le concept d'opérations pour informations internationales sur phénomènes spatiaux à l'appui de l'aviation (appelé ci-après ConOps), actuellement étudié par un groupe OACI d'experts en météorologie, donne à penser que les informations de phénomènes spatiaux peuvent être exploitées pour atténuer la perturbation des communications HF, les défaillances de GNSS, les doses de radiation par particules à haute énergie, etc.

2.4.3 L'irrégularité ionosphérique qui agit sur les signaux de GNSS est un des phénomènes spatiaux. Le suivi et la prédiction des conditions ionosphériques, qui se situent dans la catégorie des informations de phénomènes spatiaux, rehausseront l'efficacité des services basés sur GNSS SC-SF grâce à l'application adéquate de ces informations. Les informations de phénomènes spatiaux peuvent procurer des données utiles pour l'alerte avancée, la prédiction de disponibilité ou la préparation aux défaillances du système dans la navigation future basée sur GNSS MC-MF, et peuvent ainsi rehausser l'efficacité du fonctionnement du GNSS.

2.4.4 La dernière version des ConOps décrit les effets de phénomènes spatiaux sur le GNSS essentiellement dans les latitudes magnétiques moyennes et élevées. Dans la région des basses latitudes magnétiques, les effets de la thermosphère (une atmosphère de fond neutre) sur l'ionosphère agissent plus sur le GNSS que dans d'autres régions (voir paragraphe 2.1 de la note NSP Iono). Pour une application mondiale plus pratique, les effets thermosphériques sur l'ionosphère, qui ont une plus grande influence dans la région des basses latitudes magnétiques, devraient être examinés compte tenu des différences régionales, et devraient être incorporés dans le ConOps.

3. CONCLUSION

3.1 Le paragraphe 2 de la présente note fait ressortir l'efficacité d'une approche collaborative contre la menace ionosphérique, et l'utilisation optimale d'informations sur les phénomènes spatiaux, pour augmenter l'intégrité et la disponibilité du GNSS en atténuant les impacts ionosphériques. Dans ce contexte, et compte tenu des recommandations pertinentes de la note WP/21, la Conférence est invitée à accepter les recommandations suivantes :

Recommandation 6/x — Informations sur l'ionosphère et les phénomènes spatiaux pour la mise en œuvre d'un système mondial de navigation par satellite

Il est recommandé que la Conférence demande à l'OACI :

- a) de coordonner les activités régionales et mondiales dans la caractérisation ionosphérique pour la mise en œuvre d'un système mondial harmonisé de navigation par satellite ;
- b) de poursuivre ses travaux sur la vulnérabilité du GNSS aux phénomènes spatiaux, pour aider les États dans la mise en œuvre du GNSS en tenant compte de l'évolution du GNSS sur le long terme ainsi que des phénomènes spatiaux ;
- c) d'étudier l'utilisation optimale des informations de phénomènes spatiaux qui sont mondialement applicables dans les régions de latitude magnétique basse à élevée pour renforcer la performance du système de navigation par satellite dans un contexte mondial.

Il est recommandé que la Conférence demande aux États :

- a) si une gestion du trafic aérien basée sur GNSS est requise ou planifiée, d'envisager une approche collaborative d'États ou de régions pour résoudre les problèmes ionosphériques, incluant la caractérisation ionosphérique pour une mise en œuvre économique, efficace, harmonisée et régionalement acceptable du GNSS.

APPENDIX A

A NEED FOR IONOSPHERIC THREAT MODEL IN GNSS IMPLEMENTATION

1. Importance of properly addressing ionospheric threat in GNSS implementation

The ionosphere is one of the vulnerabilities, which need to be properly treated when implementing GNSS. (Ref. ANConf/12-WP/21). To achieve safe and available services, the range of variability in the ionospheric effects (or threats) in the airspace where the GNSS-based air navigation service is provided must be clearly defined.

The ionospheric effects depend primarily on the region with respect to the earth's magnetic field and on solar activity. Thus, the ionospheric effects need to be evaluated in a manner suitable for the region where GNSS-based navigation service is given with data covering high solar activity periods.

2. Distribution of ionosphere

Distribution of the ionosphere is subject to the magnetic latitudes determined by the earth's magnetic field rather than the geographic latitude. The magnetic equator where the magnetic latitude is zero and the magnetic field is horizontal deviate from the geographic equator by about $\pm 10^\circ$ (Figure A.1).

The ionosphere can be divided into three regions by the magnetic latitude, namely, Low-latitude ($\pm 20^\circ$), Mid-latitude (20 to about 65°), and High-latitude (above 65°) regions (Figure A.1). Ionospheric dynamics are strongly affected by the magnetic field, and this dynamism makes the ionospheric phenomena vary by region. For example, the aurora-related phenomena is critical in the auroral region, the mid-latitude region is rather moderate except for the period of severe magnetic storms, and the equatorial region is more disturbed due to so called "equatorial anomaly", which translates into the enhancement of ionospheric density around $\pm 15^\circ$ magnetic latitude due to a local sharp depletion of the ionosphere dubbed "depletions" or "bubbles".

It should be noted that when GNSS signals pass the ionosphere region, the GNSS signals received at a particular site is affected. The locations where signals from a particular satellite passes the ionosphere (Ionospheric Pierce Point: IPP) distribute around the receiving sites with a radius of more than 1600 km (assuming the ionospheric altitude at 350 km), when satellites with elevation angles greater than 5° are used. Providers and regulators of GNSS-based air navigation services should consider the ionospheric effects which influence GNSS performance within the said circular area.

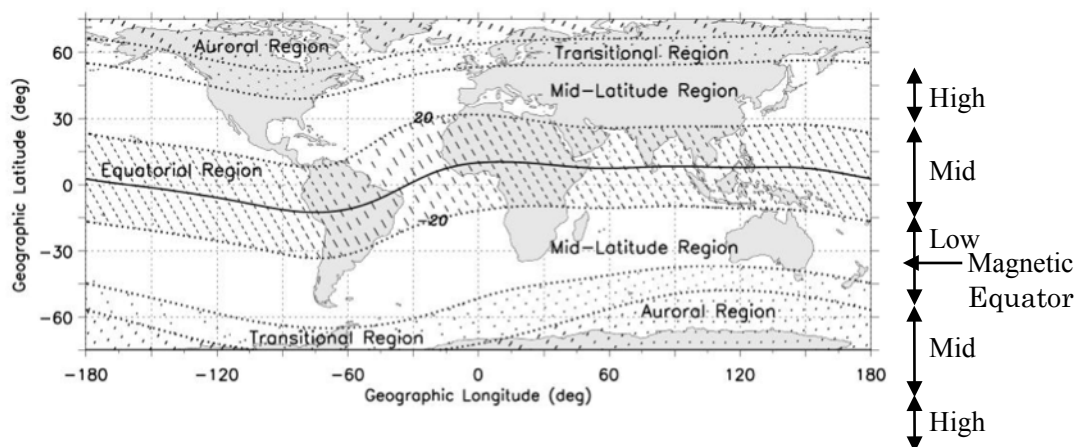


Figure 1. Ionospheric regions (adapted from Figure 3, NSP Iono paper)

3. Solar cycle consideration

The ionospheric activity (density and disturbance) strongly depends on the solar activity in various ways (increase in ionization, increase in the frequency and severity in solar disturbances, increase in thermospheric density and dynamics, etc.). The solar activity has periodicity and repeats the cycle with high and low solar activity periods almost every eleven years. The previous solar cycle reached its bottom in 2009. The current solar cycle is in its increasing phase and is expected to reach its summit around 2013-2014 (Figure A.2). To support GNSS-based services in the long-term, it is obtain to collect ionospheric data during the high solar activity period. Otherwise, it would take another eleven years to obtain data in challenging conditions, which are necessary for GNSS design and engineering to ensure the safety of GNSS-based services as well as the required performance of GNSS.

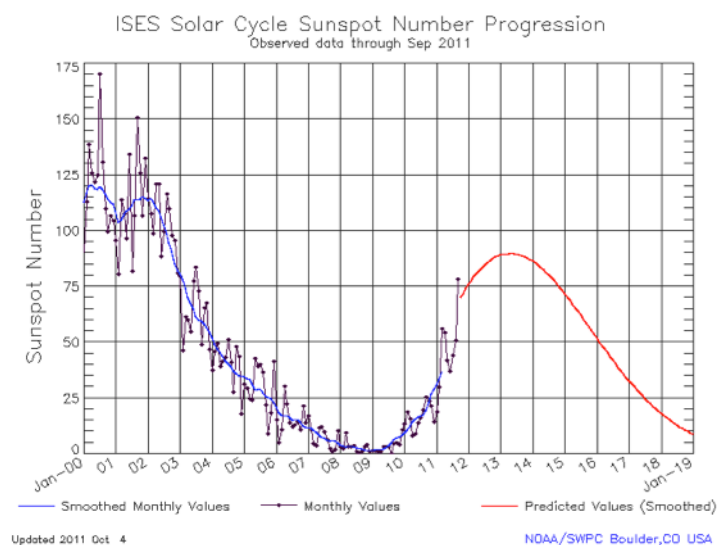


Figure 2. Sun spot number progression as recorded by the U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (Figure 2, NSP Iono paper)

4. Role of providers and regulators of GNSS-based air navigation services

Defining the range and degree of ionospheric variation which affect GNSS performance in their FIRs (ionospheric threat model) is the role of regulators of GNSS-based air navigation services, whether the model is developed by their own or modeled after other data sources. GNSS-based services must be proved to be compliant with international standards by employing the ionospheric characteristics the regulators define. Thus, it is important for regulators and service providers to correctly understand the ionospheric conditions and to build threat models applicable in their FIRs.

APPENDIX B

IONOSPHERIC STUDY TASK FORCE ACTIVITY IN ASIA/PACIFIC REGION

1. Background

1.1 In the Asia/Pacific Region, it has been widely recognized that ionosphere data collection is indispensable to characterize the low latitude ionosphere more appropriately for implementing GNSS infrastructure in the region. Such awareness was shared not only by air navigation domain, but also by regional multi-national fora such as Asia Pacific Economic Cooperation (APEC).

1.2 In the ICAO framework, the question on how to properly address ionospheric effects on GNSS was table on the 20th Asia/Pacific Air Navigation Planning and Implementing Regional Group meeting (APANPIRG/20) in September 2009. The meeting resolved that the member States cooperate with each other to collect ionosphere data and urged the member States to provide a focal point of contact in their Administration to ICAO for coordinated collection and exchange of the ionosphere data (Ref. APANPIRG/20 Report).

1.3 As a follow-up to the APANPIRG Resolution, its CNS/MET Subgroup meeting in 2010 agreed on conducting a coordinated ionospheric review and measurement campaign in the Asia Pacific region. Recognizing its dedication to R & D on ionospheric threat modeling as well as GNSS, Japan was invited to assume the technical leadership in that regional missions. (Ref. APANPIRG CNS/MET-SG/14 Report and APANPIRG 21 Report).

1.4 Inception of the mission of convening a workshop on the ionosphere data collection, analysis, and sharing in May 2011, which was followed by establishment of a dedicated Task Force, named “Ionospheric Studies Task Force (ISTF)”, of which outlines are explained in the following sections. The 1st meeting of the ISTF (ISTF/1) was held in Tokyo, Japan, in February 2012 resulting in a good kick-off for driving the regional initiative.

2. Purpose and Terms of Reference

2.1 The objectives of ISTF are to facilitate ionospheric data collection and sharing, to study the need for development of Regional Ionospheric Threat Models for GBAS and SBAS, and to develop them if the need is identified.

2.2 The current TOR of ISTF is as follows: Take the responsibility for identification of the available GNSS data source:

- a) make recommendation on sharing scenario for Ionospheric data collected;
- b) make recommendations on selecting ionospheric data sources and sharing scenario for the collected data;
- c) steer process for evaluation of the data analysis;
- d) study the need for development of regional Ionospheric threat models for GBAS and SBAS;
- e) provide guidance on the development of regional Ionospheric threat models for GBAS and SBAS if the need is identified; and
- f) establish rules for use of shared data and the result of study for non-commercial purpose.

3. Membership

3.1 The membership of ISTF is open to all the member States of APANPIRG.

3.2 The ISTF/1 meeting was attended by 9 States/Administrations including Australia, Hong Kong China, India, Japan, The Philippines, Republic of Korea, Singapore, Thailand, and United States of America.

3.3 The States which are not participating in the Ionospheric Studies Task Force are expected to share ionospheric data from their national sources with the Task Force to support development of regional ionospheric models for GBAS and SBAS.

4. Work plan

4.1 Five specific tasks were identified by ISTF/1 with sequence and corresponding task leads as follows:

- a) identification of data source, GNSS data collection, sharing, distribution and archiving. Identification of data sharing format. (Sequence 1);
- b) identification of analysis methodology and GNSS ionospheric data analysis (Sequence 1);
- c) GNSS total electron content (TEC) gradient data generation (Sequence 2);
- d) GNSS ionospheric scintillation data generation (Sequence 2); and
- e) assessment of need to Regional GBAS and SBAS ionospheric models and development of these models if it is needed (Sequence 3).

4.2 The ISTF plans to have meetings twice in the first year and once from the second year, with a target of delivery of its final product by 2014.

5. Financial implication

5.1 The ISTF activities are supported by the voluntary contributions by the participating States, who have already been engaged with great interest in their domestic activities in this subject.

5.2 The cost incurred from data collection and ionospheric threat modeling can be minimized by making the best use of the GNSS networks which have already been operated by national organizations for such purposes of geodetic reference, reference for intelligent transportation system, GNSS augmentation or scientific research. In light of the regional or global nature of GNSS and the entire implementation cost of relatively large-scale projects, team work by those of the common interest can reduce the total cost and time by avoiding duplication of similar work as well as system harmonization in an efficient way. ICAO, being as facilitator or usher, assists them in building inter-regional or global ionospheric threat models, which allow States and ANSPs to enhance PBN as well as GNSS in a globally harmonized fashion.

5.3 The ISTF adopted a sample MOU for assisting States in entering into a data sharing agreement with their national organizations concerned.