



NOTE DE TRAVAIL

ASSEMBLÉE — 41^e SESSION

COMMISSION TECHNIQUE

Point 31 : Sécurité de l'aviation et normalisation de la navigation aérienne

AMÉLIORER LA RÉSILIENCE DES SYSTÈMES DE COMMUNICATION, DE NAVIGATION ET DE SURVEILLANCE (CNS) GRACE À L'ATTÉNUATION DES BROUILLAGES DU SYSTÈME MONDIAL DE NAVIGATION PAR SATELLITE (GNSS)

(Note présentée par la Tchéquie au nom de l'Union européenne et de ses États membres¹, des autres États membres de la Conférence européenne de l'aviation civile², des États membres de la Commission africaine de l'aviation civile³ et par EUROCONTROL)

RÉSUMÉ ANALYTIQUE

Le Système mondial de navigation par satellite (communément appelé GNSS) est une technologie d'une importance majeure qui permet de fournir, partout dans le monde, des services de communication, de navigation et de surveillance (CNS) et de gestion du trafic aérien (ATM). Le GNSS est indispensable à la navigation fondée sur les performances (PBN) et à la surveillance dépendante automatique en mode diffusion (ADS-B), qui confèrent à l'ATM des avantages considérables en termes de sécurité, de capacité et d'environnement. Le GNSS est également utilisé dans les systèmes de sécurité et donne une référence de temps permettant de synchroniser les systèmes (les réseaux de communication, par exemple) et les opérations de gestion du trafic aérien. Il est toutefois vulnérable au brouillage radiofréquence (RFI) tel que le brouillage intentionnel, et aux cyberattaques (comme le leurrage). Aussi est-il essentiel d'éliminer autant que faire se peut ces points de vulnérabilité du GNSS.

La 40^e Assemblée de l'OACI est convenue, en 2019, de prendre des mesures visant à accroître la résilience des systèmes de CNS et à atténuer le risque de RFI du GNSS. Malgré cela, les incidents de brouillage signalés dans diverses régions du monde continuent d'augmenter. Il est par conséquent impératif de mettre en œuvre des mesures susceptibles d'améliorer la résilience du GNSS à court terme (en renforçant la coordination civilo-militaire et en évitant la prolifération des dispositifs de brouillage illicites, par exemple) comme à long terme (grâce à une meilleure intégration du système de CNS dans les sources de positionnement complémentaires aéroportées, terrestres et satellitaires). Ces mesures devraient permettre de préserver les avantages de la PBN et de l'ADS-B, même dans les situations où le GNSS est corrompu.

¹ Allemagne, Autriche, Belgique, Bulgarie, Croatie, Chypre, Danemark, Espagne, Estonie, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Irlande, Italie, Lettonie, Lituanie, Luxembourg, Malte, Pays-Bas, Pologne, Portugal, Roumanie, Slovaquie, Slovénie, Tchéquie, Suède

² Albanie, Arménie, Azerbaïdjan, Bosnie-Herzégovine, Géorgie, Islande, Macédoine du Nord, Monaco, Monténégro, Norvège, République de Moldova, Royaume-Uni, Saint-Marin, Serbie, Suisse, Türkiye et Ukraine

³ Afrique du Sud, Algérie, Angola, Bénin, Botswana, Burkina Faso, Burundi, Cabo Verde, Cameroun, Comores, Congo, Côte d'Ivoire, Djibouti, Égypte, Érythrée, Eswatini, Éthiopie, Gabon, Gambie, Ghana, Guinée, Guinée-Bissau, Guinée équatoriale, Kenya, Lesotho, Libéria, Libye, Madagascar, Malawi, Mali, Maroc, Maurice, Mauritanie, Mozambique, Namibie, Niger, Nigéria, Ouganda, République centrafricaine, République démocratique du Congo, République-Unie de Tanzanie, Rwanda, Sao Tomé-et-Principe, Sénégal, Seychelles, Sierra Leone, Somalie, Soudan, Soudan du Sud, Tchad, Togo, Tunisie, Zambie et Zimbabwe.

Suite à donner : L'Assemblée est invitée à adopter la Résolution proposée dans l'Annexe à la présente note de travail (il convient de noter que ladite résolution reprend les recommandations formulées à ce sujet lors de la 40 ^e Assemblée).	
<i>Objectifs stratégiques :</i>	La présente note de travail se rapporte aux objectifs de sécurité, de capacité et efficacité de la navigation aérienne et de sûreté et facilitation.
<i>Incidences financières :</i>	Les activités visées dans la présente note seront poursuivies sous réserve de la disponibilité de ressources dans le budget du Programme ordinaire de 2023-2025 et/ou de contributions extrabudgétaires.
<i>Références :</i>	A40-WP/82, <i>Systèmes satellitaires CNS résistants au brouillage</i> Doc 10007, <i>Rapport de la douzième Conférence de navigation aérienne. Montréal, 19-30 novembre 2012</i> Résolution A32-19, <i>Charte sur les droits et obligations des États concernant les services GNSS</i> Résolution A32-20, <i>Définition et établissement d'un cadre juridique approprié à long terme régissant la mise en œuvre du GNSS</i> Résolution A35-15, <i>Exposé récapitulatif de la politique permanente et des pratiques de l'OACI relatives à un système de gestion du trafic aérien (ATM) mondial et aux systèmes de communication, navigation et surveillance et de gestion du trafic aérien (CNS/ATM)</i> A37-11, <i>Objectifs mondiaux pour la navigation fondée sur les performances</i> A40-28, <i>Appendice F, Exposé récapitulatif de la politique permanente de l'OACI dans le domaine juridique</i> Lettre aux États AN 7/5-20/89

1. DEPENDANCE ACCRUE AU GNSS

1.1 Le Système mondial de navigation par satellite (GNSS) repose sur des constellations de satellites qui, grâce aux signaux qu'ils émettent depuis l'espace, transmettent des données de positionnement et de datage à des récepteurs GNSS, notamment ceux embarqués dans les aéronefs. Ces récepteurs peuvent ainsi déterminer la position exacte des aéronefs. La navigation par satellite et le GNSS ont ceci d'utile pour le secteur de l'aviation qu'ils permettent de mettre au point de nouvelles procédures qui donnent aux aéronefs la possibilité de suivre des routes plus directes avec un espacement réduit, en limitant la consommation de carburant, le bruit et les émissions de carbone.

1.2 Lors de la 40^e Assemblée, de nombreux documents ont mis en avant la nécessité d'améliorer la résilience des systèmes de communication, de navigation et de surveillance (CNS), dont le GNSS. L'Assemblée a approuvé les propositions tendant à améliorer la résilience des CNS au RFI, indiquant qu'il fallait s'employer à i) empêcher l'utilisation de dispositifs illégaux de brouillage, ii) accroître la collaboration avec les autorités de réglementation des radiocommunications et d'exécution des procédures du spectre, iii) renforcer la coordination civilo-militaire pour gérer les risques de brouillage associés aux essais du GNSS et aux zones de conflit, iv) maintenir l'infrastructure de navigation conventionnelle essentielle pour assurer un soutien d'urgence en cas d'interruptions du GNSS et élaborer des techniques d'atténuation en cas de perte de services. L'importance de ces mesures a été réaffirmée dans la lettre aux États AN 7/5-20/89 de l'OACI.

1.3 L'OACI a encouragé les États membres à appliquer les dispositions existantes pour limiter le nombre et l'intensité des RFI du GNSS. Cependant, étant donné la multiplication des incidents de ce type, il convient de renforcer plus encore la résilience des systèmes CNS et d'atténuer les effets de ces

brouillages sur la navigation fondée sur les performances (PBN), la surveillance dépendante automatique en mode diffusion (ADS-B) et autres utilisations de données relatives à la position et au temps fournies par le GNSS.

1.4 L'utilisation de la PBN et de l'ADS-B s'est développée au point d'entraîner une dépendance de plus en plus complexe au GNSS, tant pour la navigation que pour la surveillance. L'Europe et de nombreuses autres régions du globe s'orientent vers un environnement de navigation reposant sur la PBN avec un moindre recours aux procédures basées sur les aides à la navigation classiques. De même, l'utilisation de l'ADS-B et son intégration dans l'ensemble de la chaîne de surveillance vont de l'avant, ce qui permet d'exploiter des capacités de contrôle de la circulation aérienne (ATC) à la pointe du progrès. En outre, de multiples applications de surveillance et de gestion des trajectoires sont désormais conçues pour mettre à profit les fonctions de datage du GNSS afin de synchroniser les systèmes au sol et les systèmes embarqués auxquels ils sont couplés.

1.5 Si de nombreux aéronefs de transport aérien sont en mesure de conserver les informations relatives à la position et au temps en cas de RFI du GNSS grâce à des systèmes de navigation alternatifs, d'autres utilisateurs de l'espace aérien sont davantage tributaires du GNSS. Dans certains espaces aériens où il est fait appel à la PBN, il n'est plus possible de revenir à des procédures classiques, ce qui signifie qu'une infrastructure de secours doit être prévue (réseau d'exploitation minimum). Dans la mesure où les informations relatives à la position et à la vitesse qu'utilise l'ADS-B proviennent du GNSS, toute dégradation ou panne de ce dernier affecte également la performance de l'ADS-B. Aussi les infrastructures CNS doivent-elles veiller à ce que des réseaux d'exploitation minimum de navigation et de surveillance puissent assurer les opérations d'urgence en cas de panne du GNSS.

1.6 Actuellement, le système de navigation par inertie (INS) et les systèmes de navigation terrestre tels que le dispositif de mesure de distance (DME) ne peuvent pas prendre en charge la totalité des applications PBN et ne sont pas utilisés pour l'ADS-B. L'incertitude quant à la position des aéronefs qui résulte des calculs réalisés par certains systèmes de gestion de vol risque de poser problème pour telle opération PBN ou tels service ADS-B. Il est donc difficile d'évaluer les effets des brouillages du GNSS sur la capacité de chaque aéronef à poursuivre sa propre navigation en s'en remettant aux données avioniques figurant dans le plan de vol. Il en résulte à la fois un surcroît de travail pour le personnel responsable du contrôle de la circulation aérienne et des incertitudes quant à la planification des capacités de contrôle de la circulation aérienne dans le secteur concerné.

1.7 Les informations relatives à la position, à la vitesse et au temps (PVT) obtenues par le GNSS sont également utilisées dans plusieurs autres applications aéronautiques, comme les services de liaison de données et de communication par satellite. De ce fait, il est difficile pour les pilotes de se rendre compte des effets du RFI du GNSS sur tous les systèmes aéronautiques concernés, et leur charge de travail s'en trouve accrue lorsqu'ils doivent faire face à des incidents de ce type. C'est pourquoi plusieurs constructeurs aériens ont publié à l'intention des exploitants d'aéronefs des directives expliquant à la fois les effets du RFI du GNSS sur l'avionique et la procédure à suivre pour y pallier. Il faut en outre que l'équipage suive une formation pour pouvoir gérer correctement ce type de situation.

1.8 Une récente analyse⁴ réalisée par EUROCONTROL montre que, sur le réseau européen, 38 pour cent du trafic passe par des régions où se sont produits de nombreux et graves incidents de RFI du GNSS. Ce trafic doit ainsi composer avec des marges de sécurité réduites sur de longues périodes, ce qui complique la gestion d'autres défaillances du système.

⁴ <https://www.eurocontrol.int/event/eurocontrol-stakeholder-forum-gnss>

1.9 Si la plupart des incidents de brouillage radiofréquence du GNSS qui ont été constatés ont mis à l'arrêt des fonctionnalités de navigation et de surveillance connexes, les pilotes ont également signalé plusieurs types d'anomalies – décalage des cartes, mesure incorrecte de la vitesse au sol, comportement inhabituel des horloges des aéronefs et, dans de rares cas, faux avertissements de proximité du sol. Ces problèmes peuvent être attribués au niveau croissant d'intégration des équipements des aéronefs, et les constructeurs d'avions prennent des mesures pour y remédier. Il faut toutefois tenir compte du fait que certaines de ces anomalies peuvent être provoquées par des signaux intentionnellement faux ou trompeurs (leurrage). Le fait est qu'il est désormais plus facile de générer ce type de signaux, puisque cela ne nécessite plus de capacités de niveau militaire. Les indicateurs actuels d'intégrité de la navigation ont été conçus uniquement comme une mesure de sécurité et ne prennent pas particulièrement en compte le leurrage.

1.10 La plupart des incidents de RFI du GNSS ont lieu dans des zones de conflit ou sont liés à des systèmes de défense par drones. Les aéronefs continueront d'y être exposés, même si l'OACI et l'Union internationale des télécommunications redoublent d'efforts pour encourager les États à limiter les RFI préjudiciables dans toute la mesure du possible. Si loin soient-ils des zones de conflit, de tels incidents peuvent cependant survenir à tout moment et affecter un nombre important d'espaces aériens⁵. Parmi les sources de brouillages peuvent également figurer des systèmes anti-UAS (aéronefs non habités) utilisés par des acteurs étatiques en charge de la sécurité qui y ont été dûment autorisés – selon un déploiement planifié ou tactique.

2. AMÉLIORER LA FUTURE INTÉGRATION DES CAPACITÉS DE POSITIONNEMENT COMPLÉMENTAIRES

2.1 L'OACI, ses États membres et le secteur de l'aviation mettent actuellement au point des capacités de navigation par satellite de nouvelle génération ; ils ont ainsi conçu un système multi-constellations bi-fréquence (DFMC) qui, en plus de posséder des fonctionnalités de haut niveau en termes de sécurité, contribuera à limiter considérablement les points de vulnérabilité non liés aux RFI et protégera le GNSS contre les brouillages visant une fréquence unique.

2.2 Les recommandations 6/8 e) et f) de la Douzième Conférence de navigation aérienne, qui portent sur l'intérêt des systèmes de navigation par inertie (INS) et du dispositif de mesure de distance (DME), préconisent de perfectionner ces systèmes de façon à ce qu'ils viennent compléter le DFMC et permettent une poursuite sans heurt des opérations. Bien que les équipements avioniques performants basculent déjà vers ces sources de positionnement en cas de panne du GNSS, il peut en résulter une dégradation des services connexes qui devrait être limitée au maximum. Les progrès ainsi réalisés en termes d'intégration permettront d'obtenir des données PVT hautement fiables répondant, dans le respect des critères de sécurité et de sûreté, aux besoins des aéronefs comme à ceux de l'ATC.

2.3 À cette fin, il conviendrait que les États membres, l'OACI et le secteur de l'aviation soutiennent les travaux entrepris par les organismes de normalisation et mettent au point de nouvelles méthodes permettant d'associer les données PVT à des indicateurs de meilleure qualité, afin d'empêcher leur utilisation si elles venaient à être corrompues. Cela devrait supprimer les effets en cascade sur d'autres systèmes et autoriser la fourniture ininterrompue de tous les services PBN et ADS-B dispensés en route et en zone terminale, même lorsque le GNSS est hors d'usage. Des activités de planification complémentaires devraient veiller à une mise en œuvre cohérente en tirant parti de tous les éléments disponibles et appropriés

⁵ Comme cela a été le cas récemment, lorsqu'un yacht équipé d'un puissant brouilleur de drones de paparazzi l'a accidentellement mis en route.

des infrastructures spatiales, aéronautiques et terrestres et en tenant compte de l'évolution des menaces affectant la sécurité et de l'intégration des futures avancées technologiques des systèmes de CNS.

2.4 Les performances à atteindre sont de haut niveau : il s'agit d'obtenir des données de position et de temps plus solides qui puissent être utilisées dans toutes les applications possibles, sur la base d'informations provenant de tous les systèmes existants de CNS terrestres, spatiaux et embarqués. Ces systèmes peuvent se compléter efficacement, soit en améliorant la continuité des services grâce à des fonctionnalités de sauvegarde, soit en renforçant l'intégrité des services à l'issue d'une vérification croisée de la position réalisée de manière indépendante (y compris entre des systèmes de surveillance indépendants), ce qui permet d'améliorer la sécurité et la sûreté de ces opérations. Les principes directeurs devraient être coordonnés par l'OACI, tandis que les organismes de normalisation du secteur de l'aviation devraient élaborer les spécifications techniques détaillées correspondantes.

3. MESURES IMMÉDIATES À COURT TERME

3.1 Avant qu'un tel niveau d'intégration soit atteint, les aéronefs continueront de subir des RFI du GNSS et d'en supporter les conséquences opérationnelles. Aussi est-il absolument nécessaire de protéger les services GNSS dans toute la mesure du possible en mettant au point des méthodes de surveillance de la communication des positions par l'ADS-B, de façon à ce que les fournisseurs de services de navigation aérienne (ANSP) puissent déterminer quels aéronefs font face à une panne du GNSS et garantir ainsi la poursuite des opérations en toute sécurité. La source de RFI pourra ainsi être localisée et éliminée en application de la réglementation sur les radiocommunications.

3.2 Les constructeurs d'aéronefs devraient continuer à évaluer les effets en cascade des RFI du GNSS sur leurs systèmes, envisager l'installation de dispositifs embarqués permettant de détecter les interférences et de les signaler grâce à des systèmes de collecte de données automatisés, publier des directives appropriées sur la gestion des problèmes opérationnels et recommander une formation adéquate pour les pilotes. Ces derniers devraient continuer à signaler les problèmes de performance du GNSS et leurs effets connexes au niveau du poste de pilotage.

3.3 Les ANSP devraient soigneusement analyser les effets des RFI du GNSS sur leurs installations de CNS et s'assurer que toute dégradation du système soit détectée et traitée. Il faudrait prévoir des fonctionnalités de sauvegarde appropriées pour les systèmes de CNS, y compris les systèmes et applications nécessitant une synchronisation du datage. En outre, il conviendrait de doter d'une infrastructure et de procédures opérationnelles les exploitants d'aéronefs non équipés de multi-capteurs afin qu'ils puissent prêter main-forte dans les opérations de secours.

3.4 S'il est établi que des exercices et tests générant un RFI du GNSS sont parfois nécessaires à des fins de sécurité nationale, toute activité de ce type devrait faire l'objet d'une coordination civilo-militaire renforcée et les mesures qu'elle suppose devraient être prises dans un esprit de collaboration. Une telle coordination devrait limiter au maximum les effets du brouillage du GNSS sur l'aviation civile et inclure également, le cas échéant, une collaboration transfrontière entre les États concernés.

3.5 Les efforts visant à réduire les RFI ne devraient pas se limiter à l'aviation, étant donné que les services du GNSS sont indispensables à de nombreuses communautés d'utilisateurs et d'autres secteurs d'infrastructures critiques. Les autorités aéronautiques sont encouragées à s'adresser aux acteurs étatiques concernés pour veiller à limiter le plus possible la prolifération de ces brouillages. Il conviendrait à cet effet de renforcer les capacités préventives (régulation, intervention des marchés) et réactives (capacité à détecter les sources de brouillage, à les localiser et à y mettre fin), selon que de besoin.

4. CONCLUSION

4.1 Au vu du rôle central du GNSS dans les systèmes CNS/ATM, tel qu'il ressort du présent document de travail, il est impératif d'atténuer les RFI du GNSS et d'accroître la résilience du système CNS, notamment par une meilleure intégration des capacités de positionnement complémentaires. La résolution de l'Assemblée proposée en annexe a été élaborée à cet effet, dans le but de guider et soutenir une action efficace des États, de l'OACI et du secteur de l'aviation.

APPENDIX

PROPOSED ASSEMBLY RESOLUTION

A35-15:	Consolidated statement of continuing ICAO policies and practices related to a global ATM system and CNS/ATM systems
----------------	--

APPENDIX A

General Policy

...

APPENDIX B

Harmonization of the implementation of the ICAO CNS/ATM systems

...

APPENDIX C

Ensuring the resilience of ICAO CNS/ATM systems and services

Whereas the ATM/CNS systems are evolving and so are the associated CNS threats and vulnerabilities;

Whereas the occurrences of interferences against satellite-based CNS systems and GNSS, in particular, have significantly increased;

Whereas CNS resiliency to interference needs to be addressed at a global level with a holistic approach, ensuring an efficient and coordinated evolution between the infrastructure architecture, improved technological capabilities, civil and military operational procedures, radio regulatory authorities and civil-military coordination;

Recognising that resiliency to interference needs to be improved by maximising the integration of all suitable ground infrastructure, space infrastructure and airborne components in a complementary and cooperative manner to be as robust as possible to cases of satellite-based service disruption or environments where false or deceptive signals are present;

Recognising that both the aircraft onboard and ground infrastructure complementing the satellite-based CNS systems need to be adapted to include, where appropriate, interference detection, mitigation and reporting functions to support the resolution of operationally encountered performance anomalies;

Believing that, combined with the use of the appropriate legal framework, such capabilities and measures will allow for the relevant authorities to act upon harmful interferences caused by the illegal operation of transmitters and avoid the proliferation and the use of such illegal transmitters and the misuse of test and maintenance equipment;

Believing that, with appropriate coordination and application of best practices, military and State authorities can conduct GNSS-related testing and other interventions using radio equipment as necessary and without causing an undue impact on civil aviation;

Believing that civil-military coordination should facilitate the sharing of relevant information with airspace users, especially when flying in the vicinity of a conflict zone; and

Acknowledging that loss of crew's situational awareness from malicious origin is classified as a cybersecurity threat and cannot be tolerated in civil aviation; and that intentionally sending misleading signals to replace the accurate signal is a far more serious threat to flight safety than the loss of this signal.

The Assembly:

1. *Encourages* States to transition towards optimised, secure CNS systems based on complementary integration of suitable and independent aircraft capabilities, satellite- and ground-based infrastructure which maximise resiliency and robustness to any type of interference;
2. *Encourages* standardisation bodies and industry to develop appropriate interference detection, mitigation and reporting capabilities for the aircraft on-board, satellite- and ground-based CNS system components, in order to ensure higher CNS resiliency, continuity of operations and prevent any cascading effects from the use of compromised position, velocity or time data;
3. *Encourages* States to ensure that sufficient terrestrial CNS capabilities remain available to ensure safe operations and complement aircraft-level integration of position, velocity and time with independent surveillance information;
4. *Invites* ICAO to develop high-level principles on how to integrate CNS ground, space and on-board systems and capabilities to obtain more resilient positioning and timing services;
5. *Urges* States to apply necessary measures to avoid the commercialisation/proliferation and the use of illegal transmitters such as jammers and the misuse of test and maintenance equipment which may impact CNS systems;
6. *Urges* States to ensure close collaboration between aviation authorities, military authorities, service providers, radio regulatory and spectrum enforcement authorities to put in place any special measures required to ensure that spectrum used by all CNS systems, and GNSS in particular, is free from harmful interference;
7. *Urges* States to refrain from any form of jamming, or spoofing affecting civil aviation;
8. *Urges* States to coordinate and notify to the maximum extent possible in advance with the ANSP responsible for the affected airspace in case of military or other State-authorized security or defence-related operations or training, potentially causing any form of jamming, or spoofing affecting civil aviation; and
9. *Urges* States and operators when assessing the interference risks associated with conflict zones to consider that the use of satellite-based CNS systems can potentially be impacted beyond those zones

— END —