



ASSEMBLÉE — 42^e SESSION

COMMISSION TECHNIQUE

Point 24 : Initiatives prioritaires en matière de sécurité aérienne et de navigation aérienne

ATTÉNUER LES VULNÉRABILITÉS DES GNSS DANS L'AVIATION : RENFORCER LA RÉSILIENCE ET LA CONTINUITÉ OPÉRATIONNELLE

[Note présentée par le Conseil international de coordination des associations d'industries aérospatiales (ICCAIA), l'Organisation des services de la navigation aérienne civile (CANSO), la Fédération internationale des associations de pilotes de ligne (IFALPA) et le Conseil international de l'aviation d'affaires (IBAC)]

RÉSUMÉ ANALYTIQUE

Le présent document examine le paysage actuel des vulnérabilités des GNSS, leurs implications pour l'aviation, les mesures d'atténuation possibles et propose une série de recommandations à l'OACI et à la communauté de l'aviation civile visant à atténuer les effets de brouillage et de leurrage des GNSS.

Suite à donner : L'Assemblée est invitée à :

- a) encourager les États contractants à mettre au point des systèmes de détection des interférences et à soutenir les moyens permettant de fournir aux exploitants des informations opportunes et pertinentes sur le plan opérationnel concernant les interférences GNSS,
- b) charger l'OACI de collaborer avec les États et/ou les acteurs du secteur afin de soutenir l'élaboration de normes et de moyens d'orientation visant à fournir aux exploitants des informations pertinentes sur le plan opérationnel concernant les interférences,
- c) charger l'OACI d'accélérer les efforts visant à définir et à normaliser des systèmes PNT complémentaires qui vont au-delà des capacités des aides à la navigation conventionnelles actuelles,
- d) charger l'OACI d'accélérer l'élaboration de normes pour l'authentification des signaux des constellations de base et des augmentations du GNSS,
- e) charger l'OACI de collaborer avec les États, les organismes de normalisation (RTCA, EUROCAE, IEEE et autres) et les acteurs du secteur afin d'élaborer des exigences et des normes de performance à l'appui de la synchronisation temporelle dans tous les domaines de vol, afin de promouvoir la sécurité et l'efficacité opérationnelles. Cela devrait inclure des directives concernant les niveaux requis de synchronisation temporelle garantie, notamment sa précision, son intégrité et sa continuité.
- f) exhorter les États à collaborer/encourager/soutenir les acteurs du secteur afin de poursuivre le développement et le déploiement de technologies qui rendent les récepteurs GNSS et les aéronefs qui les intègrent plus résistants au brouillage et au leurrage des GNSS

¹ Versions française, anglaise, arabe, chinoise, espagnole et russe fournies par l'ICCAIA.

<i>Objectifs stratégiques :</i>	La présente note de travail se rapporte aux objectifs stratégiques <i>Chaque vol est sûr et sécurisé ; et L'aviation assure une mobilité fluide, accessible et fiable pour tous.</i>
<i>Incidences financières :</i>	Aucune.
<i>Références :</i>	A32-20 : Définition et établissement d'un cadre juridique approprié à long terme régissant la mise en œuvre du GNSS

1. INTRODUCTION

1.1 Les systèmes mondiaux de navigation par satellite (GNSS) sont essentiels à l'aviation moderne, car ils fournissent des informations cruciales sur la position, la navigation et le temps (PNT) qui permettent d'améliorer la sécurité et l'efficacité opérationnelles. Cependant, les incidents de brouillage et de leurrage des signaux GNSS, qui prennent la forme d'interférences radioélectriques (RFI), sont de plus en plus fréquents et constituent un défi majeur pour la sécurité et la fiabilité opérationnelle de l'aviation.

1.2 Le présent document examine le paysage actuel des vulnérabilités des GNSS, leurs implications pour l'aviation, les mesures d'atténuation possibles et propose une série de recommandations à l'OACI et à la communauté de l'aviation civile visant à atténuer les effets des RFI des GNSS (brouillage et leurrage).

2. ANALYSE

2.1 Depuis plusieurs années, les cas d'interférences radioélectriques avec les GNSS sont en augmentation. La situation actuelle est telle que les perturbations opérationnelles dues aux interférences radioélectriques avec les GNSS sont devenues quotidiennes dans certaines régions du monde, ce qui entraîne une dégradation des marges de sécurité, de la fiabilité opérationnelle et de l'efficacité des opérations des aéronefs civils.

2.2 Les interférences avec les signaux GNSS peuvent être classées en deux grandes catégories : 1) les interférences involontaires, y compris les signaux provenant d'appareils électroniques, les facteurs environnementaux et les brouillages involontaires provenant de systèmes voisins (par exemple, des répéteurs GNSS défectueux ou mal installés) ; et 2) les interférences intentionnelles, qui englobent les actions délibérées visant à perturber les signaux GNSS, telles que le brouillage et le leurrage.

2.3 Les interférences radioélectriques peuvent affecter les GNSS de différentes manières. Elles peuvent avoir des effets mineurs, tels que la réduction du nombre de satellites utilisés dans la solution GNSS PVT (position, vitesse et temps), mais elles peuvent également nuire au bon fonctionnement des GNSS, les empêchant de fournir des données correctes ou les amenant à fournir des données erronées.

2.4 En raison de la dégradation des GNSS causée par les interférences radioélectriques, certaines fonctionnalités des systèmes de l'aéronef sont compromises [par exemple, surveillance dépendante automatique en mode diffusion (ADS-B) – émission ; qualité de navigation requise (RNP)] et/ou ne fonctionnent pas correctement [par exemple, système d'avertissement et d'alarme d'impact (TAWS) fausse alerte]. Cette dégradation des capacités des aéronefs réduit les marges de sécurité aérienne et est devenue quotidienne, en grande partie en raison des opérations aériennes qui se déroulent à proximité de zones de conflit.

2.5 Interférences radioélectriques avec les GNSS – Conséquences

2.5.1 L'atténuation des risques liés aux interférences radioélectriques avec les GNSS est devenue une activité essentielle de gestion des risques pour les exploitants d'aéronefs. En effet, ils disposent actuellement de peu d'options pragmatiques pour garantir la fiabilité de leurs opérations, compte tenu de l'augmentation des niveaux de brouillage et de leurrage intentionnels. Aucune amélioration à court terme n'est à envisager en raison du nombre de zones de conflit dans le monde et de la prolifération de technologies facilement accessibles pour brouiller et/ou leurrer les signaux GNSS.

2.5.2 Les différences entre les suites avioniques et les procédures opérationnelles spécifiques à chaque compagnie aérienne ajoutent une complexité supplémentaire aux procédures d'atténuation en vol, tout comme les différentes approches adoptées par les autorités réglementaires nationales pour certifier les procédures d'urgence.

2.5.3 Les caractéristiques de l'espace aérien où les GNSS deviennent inutilisables jouent également un rôle dans le processus de retour à la normale. La perte des capacités fonctionnelles et des services qui dépendent des GNSS peut entraîner des perturbations opérationnelles et une augmentation de la charge de travail des équipages et des contrôleurs aériens, et donc une dégradation des marges de sécurité.

2.5.4 Dans l'espace aérien continental où il est possible de revenir à l'utilisation de l'aide de navigation au sol (GBNA) conventionnelle, les interférences radioélectriques avec les GNSS peuvent néanmoins poser des problèmes. Par exemple, des problèmes liés aux systèmes des aéronefs, tels que les fausses alertes du TAWS, peuvent également accroître les risques pour la sécurité des vols, car ils peuvent amener l'équipage à perdre confiance dans le système et à ne pas tenir compte des alertes réelles du TAWS.

2.5.5 Lorsqu'ils sont exposés à des interférences radioélectriques, le temps de récupération des récepteurs GNSS embarqués peut dépasser 30 minutes, ce qui augmente le risque de perturbation des opérations. Dans certains cas, comme dans l'Atlantique Nord, les aéronefs peuvent se voir refuser l'entrée dans l'espace aérien océanique si les services dérivés du GNSS, tels que la synchronisation universelle coordonnée, sont déficients, par exemple en cas de perte des communications de données avant le point d'entrée/de sortie océanique.

2.5.6 Certains cas de leurrage ont entraîné la transmission d'une heure et/ou d'une date erronées par les récepteurs GNSS. Dans certains cas, une référence temporelle corrompue peut persister même après que l'aéronef a cessé de recevoir les signaux de brouillage actifs. Cela peut causer des problèmes avec de nombreux systèmes en aval (par exemple, impossibilité de se connecter aux réseaux de données en raison des contrôles de sécurité/authentification de la synchronisation temporelle).

3. ATTÉNUATION DES INTERFÉRENCES RADIOÉLECTRIQUES AVEC LES GNSS

3.1 Les interférences radioélectriques avec les GNSS constituent un problème très complexe, et aucune mesure d'atténuation n'est totalement efficace dans toutes les situations opérationnelles. Une atténuation efficace des interférences radioélectriques avec les GNSS passe nécessairement par plusieurs niveaux de protection, notamment des solutions technologiques au niveau du récepteur et de l'aéronef, des solutions techniques mises en œuvre à la source et des mesures opérationnelles telles que le recours à des moyens de navigation alternatifs.

3.2 *Protection à la source.* Il est théoriquement possible d'améliorer la robustesse des GNSS en modifiant les satellites et les signaux satellitaires.

3.2.1 Les mesures d'atténuation à la source prennent beaucoup de temps à mettre en œuvre, car il faut généralement renouveler une partie importante de l'ensemble de la constellation avant que la capacité soit disponible. Ces techniques sont également limitées par la puissance et la bande passante disponibles, et les sources d'interférences radioélectriques des GNSS auront toujours l'avantage d'être beaucoup plus proches de la victime de ces interférences. En plus, il faudra généralement modifier l'équipement des utilisateurs pour tirer parti des changements apportés aux satellites et aux signaux, ce qui peut encore allonger le délai nécessaire à la mise en place de ces mesures d'atténuation.

3.2.2 L'utilisation de la technologie DFMC (multiconstellation à double fréquence) offre une certaine robustesse face aux interférences radioélectriques. Les signaux modernisés avec des taux de hachage plus élevés (c'est-à-dire des bandes passantes plus larges) offrent un meilleur traitement contre les interférences radioélectriques indésirables. Toutefois, ces avantages se limitent à une amélioration d'environ 15 dB par rapport à la sensibilité aux interférences radioélectriques des signaux du système mondial de positionnement (GPS) L1. En outre, l'introduction de signaux plus modernes à l'avenir pourrait offrir une robustesse supplémentaire, mais il s'agit d'un processus qui prendrait littéralement des décennies. L'utilisation de GNSS DFMC est déjà prévue dans la feuille de route de l'aviation civile, et l'amélioration de la robustesse est bien comprise. La diversité de fréquences associée à la DFMC permet d'atténuer les interférences radioélectriques qui pourraient se produire sur une seule des deux fréquences. Toutefois, dans le cas d'interférences radioélectriques intentionnelles avec les GNSS, il est probable que l'auteur refuse le service ou génère des signaux de leurrage sur les deux fréquences.

3.2.3 Pour certains types d'attaques par leurrage, des techniques d'authentification cryptographique peuvent être utilisées pour garantir que les utilisateurs peuvent déterminer que les signaux qu'ils suivent sont bien les signaux réels souhaités et non des leurres. Pour s'activer, ces techniques nécessitent des modifications à la fois des systèmes satellitaires et des équipements des utilisateurs et peuvent avoir une efficacité limitée contre les attaques par rediffusion de signaux. En outre, elles imposent une certaine charge à la communauté des utilisateurs liées aux mises à jour périodiques des clés cryptographiques à l'aide de méthodes sécurisées. Des efforts sont en cours pour ajouter des capacités d'authentification cryptographique aux normes du système de renforcement satellitaire (SBAS). Galileo offre déjà un service d'authentification cryptographique dans le cadre du signal standard dans l'espace. Cependant, l'OACI vient à peine d'entamer sa normalisation. Bien qu'ils puissent être bénéfiques dans certaines circonstances, ces moyens d'atténuation des attaques par leurrage ne seront pas disponibles avant de nombreuses années, à moins que des efforts ne soient faits pour accélérer la normalisation.

3.3 *Mesures d'atténuation au niveau du récepteur.* Il existe plusieurs technologies intéressantes pour atténuer les interférences radioélectriques au niveau du récepteur GNSS. Il est possible d'utiliser des algorithmes avancés de traitement du signal pour améliorer la détection des signaux de brouillage et/ou leurrage. Ces techniques peuvent être très efficaces pour détecter la présence d'interférences radioélectriques des GNSS. Cependant, comme elles sont limitées au récepteur, elles peuvent être moins efficaces pour détecter toutes les attaques par leurrage (par exemple, les plus sophistiquées).

3.4 *Atténuation des interférences radioélectriques grâce à des antennes à éléments multiples.* Les antennes adaptatives ou antennes à diagramme de réception contrôlé (CRPA) sont utilisées dans des applications militaires depuis plus de 40 ans. Ces antennes n'ont pas été commercialisées pour diverses raisons. D'une part, certaines technologies CRPA font l'objet de restrictions à l'exportation en raison de leurs applications militaires. D'autre part, les CRPA sont traditionnellement encombrantes, gourmandes en énergie et coûteuses par rapport aux antennes à diagramme de rayonnement fixe (FRPA) utilisées jusqu'à présent dans les applications de l'aviation civile. Bien que la situation en matière de restrictions à l'exportation évolue, des obstacles importants au déploiement des CRPA subsistent en raison de leur coût

élevé et des incertitudes liées à la certification du maintien de l'intégrité du GNSS en présence d'interférences radioélectriques.

3.5 *Mesures d'atténuation au niveau du PNT de l'aéronef.* Les interférences radioélectriques avec les GNSS peuvent être atténuées au niveau de l'aéronef en intégrant plusieurs capteurs d'informations PNT et en superposant des couches de protection au niveau de chaque sous-système PNT (par exemple, antenne, GNSS, inertie, navigation, etc.). Ces intégrations peuvent être utilisées pour la détection comme l'atténuation des interférences radioélectriques avec les GNSS. En comparant la position GNSS avec d'autres capteurs, il est possible de détecter de nombreux événements de leurrage. En cas de déni GNSS ou d'événement GNSS non fiable, d'autres capteurs non GNSS utilisés dans l'intégration multicapteurs peuvent également servir de source de secours pour le PNT. Cependant, dans de nombreux cas, les capteurs de navigation alternatifs n'offriront pas un niveau de service à long terme équivalent à celui des GNSS, ce qui peut nécessiter des mesures d'atténuation opérationnelles telles que des procédures de vol alternatives conçues pour être utilisées avec des aides à la navigation conventionnelles.

4. CONCLUSIONS

4.1 Il existe de nombreuses solutions technologiques pour renforcer la robustesse des GNSS. Cependant, aucune n'est réputée totalement efficace dans tous les cas. La robustesse des GNSS ayant ses limites, le recours à des capacités de navigation de secours fera probablement toujours partie de la solution globale.

4.2 Une part importante des interférences radioélectriques actuelles avec les GNSS est de nature militaire et une coordination avancée avec les autorités de l'aviation civile n'est pas toujours possible. Par conséquent, les considérations de sécurité des vols poussent à mener des recherches supplémentaires sur les options de positionnement, de navigation et de synchronisation de remplacement et/ou complémentaires (APNT ou CPNT), en plus du recours à des aides à la navigation conventionnelles.

4.3 Malgré les résolutions de l'OACI et de l'UIT, le secteur de l'aviation continue de souffrir des interférences radioélectriques avec les GNSS, et des mesures et actions supplémentaires sont donc nécessaires pour garantir la sécurité. Comme ces menaces devraient continuer à évoluer au fil du temps, cela rend nécessaire une action urgente.