

ONZIÈME CONFÉRENCE DE NAVIGATION AÉRIENNE

Montréal, 22 septembre – 3 octobre 2003

Point 6 : Questions de navigation aérienne

VULNÉRABILITÉ DU GNSS ET MÉTHODES D'ATTÉNUATION — SOLUTIONS TERRESTRES, EMBARQUÉES ET PROCÉDURALES

(Note présentée par le Secrétariat)

SOMMAIRE

La présente note a été élaborée sur la base des résultats d'une étude effectuée par le Groupe d'experts du système mondial de navigation par satellite (GNSSP) à la demande de la Commission de navigation aérienne de l'OACI. Elle décrit les vulnérabilités du GNSS et propose des méthodes d'atténuation appropriées, notamment l'emploi de systèmes de navigation par inertie, d'aides de navigation terrestres et de procédures. D'autres méthodes seront fournies lorsque les nouveaux signaux et les nouvelles constellations satellitaires du GNSS seront en place. Il est également proposé que les États évaluent la vulnérabilité du GNSS dans leur espace aérien et qu'ils choisissent les méthodes d'atténuation à appliquer en fonction de la nature de la circulation aérienne dans cet espace aérien et des opérations à prendre en charge. L'emploi de méthodes d'atténuation adéquates assurera la sécurité des opérations pendant la transition au GNSS et permettra aux États de réduire l'infrastructure actuelle des aides de navigation terrestres et d'éviter d'avoir à installer de nouvelles aides de navigation terrestres.

Jusqu'ici, on n'a relevé aucune vulnérabilité compromettant l'objectif final d'utiliser le GNSS comme système mondial pour toutes les phases du vol.

La suite à donner par la Conférence figure au paragraphe 7.

1. INTRODUCTION

1.1 Le GNSS est graduellement mis en œuvre à l'échelle planétaire et il a la capacité de satisfaire aux normes de performance de toutes les phases du vol, améliorant ainsi la sécurité et l'efficacité de la navigation. Il est indispensable, à mesure que le GNSS se généralise, que les fournisseurs de services déterminent les vulnérabilités du système et définissent des méthodes d'atténuation adéquates. La présente note donne un aperçu des vulnérabilités du GNSS et décrit les méthodes d'atténuation qui

(12 pages)

G:\ANConf.11\ANConf.11.wp.017.fr\ANConf.11.wp.017.fr.doc

peuvent être appliquées au besoin. Elle a été élaborée sur la base des résultats de plusieurs autres études de vulnérabilité et tient compte des préoccupations et des recommandations formulées dans ces études. La plupart des vulnérabilités étudiées s'appliquent aussi à d'autres systèmes de radionavigation aéronautique, mais ces systèmes n'entrent pas dans le cadre de la présente note.

2. VULNÉRABILITÉS DU SIGNAL GNSS

2.1 Brouillage

2.1.1 Les signaux provenant des constellations satellitaires de base du GNSS et du système de renforcement satellitaire (SBAS) sont vulnérables en raison de la faible puissance relative du signal reçu; les signaux du GNSS sont en effet émis par des satellites et le signal de chaque satellite couvre une grande portion de la surface terrestre. Même si les données VHF diffusées par le système de renforcement au sol (GBAS) sont plus difficiles à brouiller (la puissance du signal du GBAS est semblable à celle des signaux des aides de navigation terrestres), le service GBAS dépend des signaux des satellites des constellations de base. Les signaux brouilleurs sont limités à la portée optique : pour une source de brouillage située au sol, par exemple, la zone de brouillage à 600 m (2 000 ft) au-dessus du sol est essentiellement limitée à environ 110 km (60 NM).

2.1.2 Les normes et pratiques recommandées (SARP) sur le GNSS spécifient la performance requise en présence des niveaux de brouillage définis par le gabarit de brouillage du récepteur. Ces niveaux de brouillage sont généralement conformes au Règlement de l'Union internationale des télécommunications (UIT). Il est acceptable que les niveaux de brouillage supérieurs au gabarit causent une perte de service, mais ils ne doivent en aucun cas produire des informations dangereuses ou trompeuses.

2.1.3 *Brouillage non intentionnel.* La plupart des phénomènes de brouillage du GNSS qui ont été signalés sont causés par les systèmes de bord et l'installation du GNSS a mis en évidence plusieurs sources de brouillage involontaire (rayonnements non essentiels ou harmoniques provenant de l'équipement VHF, et émissions hors bande et rayonnements non essentiels provenant de l'équipement de communication par satellite). Les appareils électroniques portables peuvent aussi causer du brouillage au GNSS et à d'autres systèmes de navigation.

2.1.3.1 Les sources de brouillage situées au sol comprennent actuellement les communications VHF fixes et mobiles, les liaisons radio point à point fonctionnant dans la bande de fréquences du GNSS, les harmoniques provenant de stations de télévision, certains systèmes radar, les systèmes de communication mobiles par satellite et les systèmes militaires. La probabilité de brouillage dépend de la réglementation nationale du spectre radioélectrique, de la gestion des fréquences et de l'application de la réglementation à l'intérieur de chaque État ou de chaque région.

2.1.4 *Brouillage intentionnel.* En raison de leur faible puissance, les signaux du GNSS peuvent être brouillés par des émetteurs de faible puissance. Bien qu'aucun cas de brouillage intentionnel d'un aéronef civil n'ait été enregistré, l'éventualité de ce type de brouillage doit être prise en compte et évaluée comme une menace.

2.2 Mystification

2.2.1 La mystification est l'altération intentionnelle des signaux de navigation pour forcer un aéronef à dévier de sa route et à suivre une fausse trajectoire de vol. L'altération intentionnelle des signaux des satellites GNSS est techniquement beaucoup plus complexe que celle des signaux des aides

de navigation classiques basées au sol. L'altération des signaux de diffusion des données du GBAS présente les mêmes difficultés que celle des aides d'atterrissage classiques.

2.2.2 Même si, en théorie, la mystification peut fausser la navigation d'un aéronef en particulier, il est fort probable qu'elle sera détectée par des procédures normales (surveillance de la trajectoire de vol et de la distance aux points de cheminement et surveillance radar). Les dispositifs avertisseurs de proximité du sol (GPWS) et les systèmes anticollision embarqués (ACAS) assurent une protection supplémentaire contre les collisions avec le sol et avec d'autres aéronefs. Vu qu'il est difficile d'altérer intentionnellement les signaux du GNSS et qu'il n'est pas estimé nécessaire d'appliquer des méthodes d'atténuation opérationnelles particulières, ce problème n'est pas traité plus avant dans la présente note.

2.3 Effets atmosphériques

2.3.1 Les fortes précipitations n'atténuent les signaux des satellites du GNSS que d'une petite fraction de 1 dB et n'ont pas d'incidences sur les opérations. Les effets troposphériques sont pris en compte dans la conception du système et ne constituent pas une vulnérabilité du GNSS. Deux phénomènes ionosphériques peuvent cependant poser des problèmes : les perturbations ionosphériques brusques et étendues et la scintillation. Les perturbations ionosphériques entraînent des erreurs de distance qui doivent être prises en compte dans la conception du système. La scintillation peut causer une perte temporaire des signaux GNSS provenant d'un ou de plusieurs satellites.

2.4 Autres vulnérabilités

2.4.1 Les vulnérabilités du secteur terrien et du secteur spatial du GNSS doivent également être examinées. Une constellation peut contenir un nombre insuffisant de satellites à cause d'un manque de ressources pour assurer le maintien de la constellation, de problèmes de lancement ou de pannes des satellites. Une défaillance du secteur de contrôle ou l'erreur humaine peuvent éventuellement causer la panne de plusieurs satellites d'une constellation.

2.4.2 Il y a aussi le risque d'une interruption ou d'une dégradation du service durant une situation d'urgence nationale, chaque État ayant liberté d'action comme l'autorise l'article 89 de la Convention relative à l'aviation civile internationale. Si les signaux sont bloqués dans une région, les signaux GNSS civils pourraient être intentionnellement brouillés mais l'espace aérien touché serait de toute façon fermé à la circulation aérienne civile. Un autre problème moins probable est la dégradation ou le blocage des signaux des satellites de la constellation de base ou des signaux de renforcement satellitaires dans toute la zone de couverture.

3. ÉVALUATION DES RISQUES D'INTERRUPTION DU GNSS

3.1 Deux éléments doivent être pris en compte dans l'évaluation des risques opérationnels liés aux vulnérabilités du GNSS :

- a) la probabilité d'une interruption du GNSS;
- b) les incidences d'une interruption du GNSS.

3.2 En évaluant ces aspects en fonction de l'espace aérien, les fournisseurs de services de navigation aérienne peuvent déterminer s'il est nécessaire de prendre des mesures d'atténuation et, le cas

échéant, à quel niveau. Des mesures d'atténuation doivent être appliquées lorsqu'il y a une probabilité moyenne ou forte d'interruptions ayant des incidences majeures.

3.3 Évaluation de la probabilité d'interruption du GNSS

Brouillage

3.3.1 *Brouillage non intentionnel.* L'expérience opérationnelle est la meilleure façon d'évaluer ce risque. La probabilité de brouillage non intentionnel est souvent fonction de la géographie. Ce type de brouillage est plus probable dans les grandes villes où existent d'importantes sources de brouillage radioélectrique, des industries, etc., que dans les régions éloignées, où la probabilité est très faible.

3.3.2 *Brouillage intentionnel.* Chaque État doit déterminer la probabilité de brouillage intentionnel en tenant compte de la motivation à brouiller le GNSS. Le brouillage intentionnel peut être motivé par la possibilité de causer des dommages à une région et par les incidences opérationnelles qu'il peut avoir sur les applications aéronautiques ou non aéronautiques. Si les incidences sont minimales, le risque de menace est faible puisqu'il n'y a pas de motivation à causer du brouillage. Les incidences éventuelles du brouillage intentionnel peuvent cependant augmenter à mesure que les applications GNSS se multiplient et que la dépendance envers le GNSS s'accroît.

Effets atmosphériques (ionosphère)

3.3.3 Des perturbations brusques et étendues de l'ionosphère sont fréquemment observées près de l'équateur géomagnétique, mais leurs effets ne sont pas assez importants pour avoir une incidence sur les opérations en route et les approches de non-précision. Les incidences de ces perturbations sur les approches avec guidage vertical (APV) et les approches de précision (PA) peuvent être évaluées et les systèmes de renforcement peuvent être conçus de façon à les atténuer. La disponibilité des opérations APV et PA peut être limitée dans les régions équatoriales.

3.3.4 La scintillation ionosphérique est négligeable aux latitudes moyennes. Dans les régions équatoriales et, dans une moindre mesure, aux hautes latitudes, la scintillation peut causer la perte temporaire d'un ou de plusieurs signaux satellitaires. L'expérience opérationnelle dans les régions équatoriales montre que la probabilité de perdre le service GNSS est actuellement faible en raison du grand nombre de satellites visibles. La scintillation peut interrompre la réception des signaux diffusés par les satellites géostationnaires du SBAS.

3.4 Évaluation des incidences des pannes du GNSS

3.4.1 Les incidences des pannes du GNSS sur les services de navigation dépendent des facteurs suivants :

- a) le type d'espace aérien : le moment où sont appliquées les mesures correctives est plus critique dans les régions terminales que dans l'espace aérien en route à haute altitude, et, pour l'espace aérien en route, il est plus critique dans les espaces aériens où sont établis des minimums de séparation plus stricts;
- b) la densité de la circulation aérienne : dans les régions à forte densité de circulation, la charge de travail peut rendre difficile le recours au guidage radar ou aux procédures des pilotes;

- c) le niveau de service : dans le cas d'opérations moins exigeantes, la navigation à l'estime sera peut-être suffisante pour atteindre une région où le service GNSS est disponible;
- d) la disponibilité et la présence d'autres systèmes de navigation : les aéronefs qui peuvent utiliser d'autres moyens de navigation ne seront pas touchés;
- e) la surveillance radar : si le radar primaire ou secondaire est disponible, il sera plus facile d'obtenir l'aide de l'ATC pour assurer la séparation et dérouter l'aéronef sur un aéroport de dégagement;
- f) l'étendue de l'interruption : l'étendue géographique et la durée de l'interruption de service;
- g) l'évaluation de l'interruption : la capacité du fournisseur du service de navigation aérienne d'évaluer rapidement l'étendue de l'interruption du service;
- h) les conditions météorologiques : même s'il est prudent d'évaluer les incidences d'une interruption de service en supposant des conditions météorologiques de vol aux instruments (IMC), l'étendue géographique des IMC et les paramètres météorologiques choisis pour l'analyse devraient être réalistes.

3.4.2 Il faut également évaluer les incidences des interruptions du GNSS sur d'autres services. Le GNSS est souvent utilisé comme source d'informations de rythme précises dans les systèmes de communication et les systèmes radar, et peut être utilisé pour les services de surveillance dépendante automatique (ADS). Les vulnérabilités qui se rapportent à ces informations peuvent être atténuées dans le cadre de la conception du système et les applications ADS n'entrent pas dans le cadre de la présente note.

4. RÉDUCTION DU RISQUE D'INTERRUPTION DU GNSS

4.1 Installation et fonctionnement

4.1.1 Le brouillage causé à bord peut être évité par l'installation adéquate de l'équipement GNSS, l'intégration de cet équipement à d'autres systèmes de bord (blindage, séparation des antennes, filtrage hors bande) et la restriction de l'emploi d'appareils électroniques à bord de l'aéronef.

4.2 Gestion du spectre

4.2.1 *Gestion du spectre.* La gestion efficace du spectre est la principale façon d'atténuer le brouillage non intentionnel provenant des émetteurs artificiels. L'expérience opérationnelle montre que la menace posée par le brouillage non intentionnel peut être pratiquement éliminée par une gestion efficace du spectre. Cette gestion comprend les éléments suivants :

- a) la création de règlements ou de lois qui régissent l'emploi du spectre;
- b) l'application effective de ces règlements ou lois;
- c) l'évaluation vigilante des nouvelles sources de radiofréquences (nouveaux systèmes) pour s'assurer qu'elles ne perturbent pas le GNSS.

4.2.2 *Localisation et arrêt du brouillage.* Il est essentiel de pouvoir localiser rapidement la source de brouillage du GNSS et de mettre fin au brouillage. Les comptes rendus des pilotes sont la principale façon de détecter le brouillage. Comme le brouillage peut, dès qu'il se produit, interrompre le service pour de nombreux aéronefs en même temps, l'emploi d'une méthode de signalisation automatique des interruptions (message automatique de liaison de données, par exemple) permettrait de réduire la charge de travail et faciliterait la définition de la zone touchée par l'interruption de service ainsi que la localisation du brouilleur. Les systèmes de détection du brouillage peuvent être installés à bord ou au sol.

4.3 Nouveaux signaux et nouvelles constellations

4.3.1 Les nouveaux signaux et les nouvelles constellations satellitaires de base réduiront sensiblement la vulnérabilité du GNSS. Les signaux plus forts et la diversité des fréquences qu'il est prévu d'utiliser pour le GPS, le GLONASS et Galileo élimineront effectivement le risque de brouillage non intentionnel, puisqu'il est très peu probable que ce type de brouillage perturbe plusieurs fréquences en même temps. Les satellites (y compris les constellations) additionnels supprimeront le risque de panne totale du GNSS causée par la scintillation et la diversité des fréquences atténuera l'incidence des perturbations ionosphériques. L'emploi de futurs satellites géostationnaires dont les lignes de visée seront séparées d'au moins 45° atténuera les effets de l'ionosphère sur le SBAS. Des signaux GNSS plus robustes et les nouvelles fréquences rendront plus difficile le brouillage intentionnel de tous les services du GNSS. Les constellations satellitaires de base additionnelles réduisent le risque de défaillance du système, d'erreurs opérationnelles ou de cessation du service. Elles peuvent aussi continuer à assurer un service mondial dans le cas peu probable où un fournisseur d'un élément du GNSS modifie le service ou y interdit l'accès en raison d'une situation d'urgence nationale.

4.3.2 Il est essentiel d'assurer une gestion robuste et un financement vigoureux pour maintenir la continuité des services GNSS et atténuer les vulnérabilités indiquées à la section 2.4, sauf en ce qui concerne le risque d'interruption mondiale du service en raison d'une urgence nationale. Un moyen efficace de réduire ce risque est que les fournisseurs de service adoptent une politique d'interdiction régionale en cas d'urgence nationale.

5. ATTÉNUATION DES INCIDENCES DES INTERRUPTIONS DU GNSS

5.1 Introduction

5.1.1 Les principaux moyens disponibles actuellement pour atténuer les incidences des interruptions du GNSS sur les opérations aériennes sont :

- a) les systèmes de navigation par inertie (INS) et les technologies des récepteurs GNSS;
- b) les méthodes procédurales (pilote ou ATC);
- c) les aides de radionavigation terrestres, employées comme moyen de secours ou intégrées au GNSS.

5.1.2 En adoptant une stratégie efficace basée sur un ou plusieurs des moyens indiqués ci-dessus, un fournisseur de service peut non seulement assurer la sécurité des opérations aériennes en cas d'interruption du GNSS mais aussi décourager les tentatives de brouillage intentionnel en réduisant les incidences que pourraient avoir ces tentatives.

5.2 Systèmes INS et technologies des récepteurs

5.2.1 Les systèmes INS peuvent être utilisés comme moyen de navigation de surface à court terme après la perte du GNSS ou de toute autre fonction d'actualisation de la position. Ces systèmes sont déjà installés à bord de nombreux aéronefs de transport et ils sont de plus en plus abordables et accessibles pour les exploitants de petits aéronefs régionaux. Ces systèmes doivent donc être pris en compte dans l'évaluation de la nécessité d'employer des aides terrestres pour pallier les interruptions du GNSS.

5.2.2 Certaines technologies permettent également de contrer le brouillage en augmentant la robustesse des récepteurs du GNSS. Les techniques antibrouillage comprennent les antennes avancées (annulation spatiale) et les techniques de traitement du signal dans le récepteur. À mesure que leur coût diminue et qu'elles deviennent plus abordables, ces technologies peuvent être utilisées par les petits aéronefs comme solution de rechange aux systèmes INS.

5.3 Méthodes procédurales

5.3.1 Comme la plupart des nouveaux systèmes de navigation embarqués comportent une fonction automatique de navigation à l'estime, les aéronefs peuvent utiliser ce mode de navigation s'ils n'ont accès à aucun autre système de navigation pendant une interruption du GNSS. Lorsqu'ils le peuvent, les pilotes peuvent naviguer à vue, sortir de la zone touchée par l'interruption du service ou atterrir à un aéroport approprié. L'ATC peut évaluer les risques de perte de la séparation latérale et, lorsque c'est possible, appliquer une séparation verticale.

5.3.2 Les mêmes procédures peuvent être employées dans l'espace aérien contrôlé par radar; dans ce cas, l'ATC peut, selon sa charge de travail et le nombre d'aéronefs en cause, guider les aéronefs pour leur permettre de traverser la zone touchée. Dans un grand nombre d'opérations en région terminale, les aéronefs bénéficient déjà du guidage radar pour intercepter la trajectoire d'approche de précision.

5.3.3 Dans un espace aérien non radar et non contrôlé, les pilotes peuvent communiquer entre eux sur une liaison air-air pour maintenir la séparation et essayer de déterminer l'étendue géographique de l'indisponibilité du service.

5.3.4 L'utilisation efficace des méthodes procédurales pour assurer la séparation et le déroutement dépend de tous les facteurs énumérés à la section 3.2. L'élément le plus important est le degré d'équipement des aéronefs en moyens de navigation autres que le GNSS, comme la navigation par inertie.

5.3.5 Les procédures et la formation des pilotes et des contrôleurs de la circulation aérienne doivent tenir compte de la vulnérabilité du GNSS, établir les mesures à prendre pour contrer efficacement le brouillage, mettre en place des procédures de repli et signaler les phénomènes de brouillage et leur emplacement.

5.4 Aides de radionavigation terrestres

5.4.1 Les systèmes de navigation terrestres constituent actuellement un des moyens les plus efficaces d'atténuer les effets d'une interruption du GNSS. Les autres méthodes d'atténuation prendront plus d'importance à mesure que s'accomplira la transition au GNSS et que l'infrastructure terrestre diminuera. La capacité opérationnelle exigée de l'infrastructure terrestre évoluera avec la prédominance du GNSS et l'utilisation accrue de la navigation de surface (RNAV) dans l'espace aérien et les procédures. Une infrastructure de DME peut être utilisée pour assurer un service de navigation de surface

en route et en région terminale aux aéronefs équipés de systèmes de gestion de vol utilisant plusieurs DME. Cette capacité peut également être employée pour les approches RNAV si la couverture DME est suffisante.

5.4.2 Dans les cas où les moyens de navigation de repli ne prennent pas en charge la RNAV, il faut tenir compte de la charge de travail que représente la transition à d'autres routes et à d'autres procédures. Cependant, une fois que la transition est terminée et que la situation redevient normale, les opérations peuvent continuer sur ces autres routes aussi longtemps que nécessaire si le brouillage persiste.

5.4.3 Si le service de repli nécessaire est un service d'approche de précision, un système d'atterrissage aux instruments (ILS) ou un système d'atterrissage hyperfréquences (MLS) peut être utilisé. Il faudrait, dans ce cas, conserver un nombre minimal de ces systèmes à un aéroport ou à l'intérieur de la région considérée.

6. CONCLUSIONS

6.1 *Brouillage non intentionnel.* La probabilité du brouillage non intentionnel et son incidence sur les opérations dépendent de l'environnement. Ce type de brouillage ne constitue pas une menace importante si les États contrôlent et protègent adéquatement le spectre électromagnétique, autant en ce qui concerne les attributions de fréquences actuelles que les nouvelles attributions. En outre, l'introduction de nouvelles fréquences pour la transmission des signaux GNSS permettra d'éviter que le brouillage non intentionnel ne cause une perte complète du service GNSS.

6.2 *Brouillage intentionnel.* Le risque de brouillage intentionnel dépend d'éléments qui doivent être traités par les États. Les États qui déterminent que le risque est inacceptable dans certaines zones peuvent maintenir la sécurité et l'efficacité des opérations en adoptant une stratégie d'atténuation efficace, notamment une combinaison de techniques d'atténuation à bord des aéronefs (par ex., l'emploi de l'INS), de méthodes procédurales et d'aides de navigation terrestres.

6.3 *Ionosphère.* La scintillation peut causer la perte des signaux des satellites GNSS dans les régions équatoriale et aurorale, mais risque peu de causer une perte complète du service GNSS; l'addition de nouveaux signaux et de nouveaux satellites GNSS permettra d'atténuer ce risque. Les perturbations ionosphériques peuvent limiter les services SBAS et GBAS monofréquences qui peuvent être assurés dans la région équatoriale et doivent être prises en compte dans la conception des systèmes de renforcement.

6.4 *Autres vulnérabilités.* Une gestion indépendante des constellations, le financement et une conception robuste du système permettront d'atténuer sensiblement les défaillances du système, les erreurs opérationnelles et l'arrêt du service.

6.5 Les États doivent évaluer la vulnérabilité du GNSS dans leur espace aérien et choisir des méthodes d'atténuation appropriées en fonction de cet espace aérien et des opérations à prendre en charge. Ces méthodes doivent être capables d'assurer la sûreté des opérations pendant la transition au GNSS et permettre aux États de réduire l'infrastructure actuelle des aides de navigation terrestres, d'éviter d'avoir à installer de nouvelles aides de navigation terrestres et de retirer les aides dans certaines régions. Jusqu'ici, on n'a relevé aucune vulnérabilité compromettant l'objectif final d'utiliser le GNSS comme système mondial pour toutes les phases du vol.

7. **SUITE À DONNER PAR LA CONFÉRENCE**

7.1 La Conférence est invitée à convenir des recommandations suivantes :

Recommandation 6/A — Lignes directrices sur l’atténuation des vulnérabilités du GNSS

Il est recommandé que, lors de la planification et de l’introduction des services GNSS, les États :

- a) évaluent la probabilité et les effets des vulnérabilités du GNSS dans leur espace aérien et emploient, au besoin, les méthodes d’atténuation indiquées dans les lignes directrices figurant à l’appendice pertinent au rapport sur le point 6 de l’ordre du jour;
- b) gèrent et protègent efficacement les fréquences du GNSS pour réduire les risques de brouillage non intentionnel;
- c) tirent pleinement parti des techniques d’atténuation disponibles à bord des aéronefs, notamment de la navigation par inertie;
- d) donnent priorité, lorsqu’il est nécessaire de conserver des aides de navigation terrestres dans le cadre d’une transition évolutive au GNSS, à la conservation du DME pour les opérations en route et en région terminale utilisant l’INS/DME ou la RNAV DME/DME, et à l’ILS et au MLS pour les approches de précision sur des pistes choisies;
- e) tiennent compte de la contribution des nouveaux signaux et des nouvelles constellations du GNSS dans la réduction des vulnérabilités du GNSS.

Recommandation 6/B — Poursuite des études sur le brouillage du GNSS

Il est recommandé que, pour aider les États à atténuer les vulnérabilités du GNSS, l’OACI :

- a) évalue les résultats des études en cours dans plusieurs États contractants sur les effets de l’ionosphère dans les régions équatoriales pour que les systèmes de renforcement puissent réduire l’incidence de ces effets sur les opérations utilisant le GNSS monofréquence;
- b) examine la possibilité de normaliser un moyen automatique de signaler les interruptions du GNSS et d’en déterminer l’étendue.

APPENDICE

EXEMPLE D'ÉVALUATION DE LA VULNÉRABILITÉ DU GNSS

La section 3 de la présente note contient des lignes directrices pour l'évaluation de l'incidence et de la probabilité des interruptions du GNSS. Le présent appendice donne deux exemples d'application de cette méthode aux opérations GNSS actuelles. Ces exemples ne tiennent pas compte des futurs signaux ni des nouvelles constellations du GNSS.

1. **Espace aérien encombré — latitudes moyennes.** L'exemple suivant s'applique aux opérations GNSS actuelles dans un espace aérien à forte densité de circulation, situé aux latitudes moyennes et bénéficiant d'une gestion efficace du spectre.

1.1 *Brouillage non intentionnel.* Le brouillage non intentionnel s'est produit en Amérique du Nord et en Europe. En Amérique du Nord, il y a eu sept cas confirmés de brouillage du GPS au cours des quelques dernières années. L'expérience opérationnelle montre que le brouillage non intentionnel est improbable mais qu'il ne peut pas être négligé.

1.2 *Brouillage intentionnel.* Il n'existe aucun motif important de brouiller délibérément le GNSS dans le cadre des opérations actuelles. Aucun cas de brouillage intentionnel dans l'environnement civil n'a été signalé jusqu'ici. La probabilité de ce type de brouillage est négligeable dans les opérations existantes. La menace de brouillage intentionnel risque cependant d'augmenter au fur et à mesure que l'emploi du GNSS s'accroît.

1.3 Le brouillage a pour effet d'interrompre le service GNSS dans la ligne de visée du brouilleur. Les aéronefs de la plupart des transporteurs aériens de ces régions sont équipés de systèmes de navigation par inertie et/ou de systèmes de gestion de vol (FMS) dotés de la fonction RNAV DME/DME. Les DME sont disponibles dans la plupart des espaces aériens. Même si certains aéronefs n'ont pas de fonction RNAV indépendante, leur sécurité peut être assurée et les opérations peuvent continuer, peut-être avec une efficacité réduite. Les incidences du brouillage intentionnel et du brouillage non intentionnel sont donc modérées.

1.4 *Mystification.* La mystification ne constitue pas une menace importante et son incidence serait modérée.

1.5 *Effets ionosphériques.* La scintillation ionosphérique n'a jamais provoqué de perte de la localisation GNSS aux latitudes moyennes; la probabilité que ce problème se produise est donc négligeable. Ce problème n'aurait aucune incidence opérationnelle vu la courte durée du phénomène, la disponibilité des aides de navigation terrestres et le nombre élevé d'aéronefs dotés de l'équipement nécessaire pour les utiliser.

1.6 *Résumé.* Le Tableau I résume la probabilité et l'incidence opérationnelle des vulnérabilités identifiées. Il indique la probabilité que le problème se produise en fonction de la gravité des incidences opérationnelles. Les États devraient prendre des mesures pour atténuer les vulnérabilités qui sont peu probables mais qui ont des incidences graves lorsqu'elles se produisent, ainsi que celles qui sont probables et qui ont des incidences. Les vulnérabilités qui ont une faible probabilité et des incidences modérées doivent également être prises en compte.

2. **Régions éloignées — zone équatoriale.** L'exemple suivant s'applique aux opérations GNSS actuelles dans un espace aérien éloigné, en zone équatoriale, caractérisé par une faible densité de circulation et une gestion efficace du spectre.

2.1 *Brouillage non intentionnel.* La probabilité de la plupart des cas de brouillage non intentionnel est moins élevée dans les régions éloignées. Avec une gestion efficace du spectre, le risque de brouillage dans ces régions peut être négligeable. En raison de l'absence de services radar, les interruptions du GNSS peuvent avoir des incidences allant de modérées à graves.

2.2 *Brouillage intentionnel.* Il ne s'est produit aucun cas de brouillage intentionnel et il n'y a aucun motif important de brouiller délibérément le GNSS vu la faible densité des opérations et l'éloignement des régions. La probabilité de ce type de brouillage est négligeable dans les opérations existantes. La menace de brouillage intentionnel risque cependant d'augmenter au fur et à mesure que l'emploi du GNSS s'accroît. L'incidence du brouillage intentionnel est la même que celle du brouillage non intentionnel.

2.3 *Mystification.* La mystification ne constitue pas une menace importante et son incidence serait modérée.

2.4 *Effets ionosphériques.* Les phénomènes de scintillation ionosphérique capables de dégrader les performances du GNSS sont probables dans les zones équatoriales. Leur incidence opérationnelle est modérée puisque la scintillation provoque habituellement une dégradation de la performance mais non une perte totale de la capacité de navigation. Même en cas de perte totale de la fonction de localisation, l'interruption serait de courte durée et la faible densité de la circulation aérienne garantit le maintien de la sécurité.

2.5 *Résumé.* Le Tableau 2 résume la probabilité et l'incidence opérationnelle des vulnérabilités identifiées. Le problème le plus important est le risque de scintillation ionosphérique. Il est recommandé que les États prennent des mesures pour réduire les incidences de ce phénomène :

- a) en mettant en place des procédures opérationnelles qui assurent la continuité des opérations pendant les brèves interruptions du GNSS;
- b) en poursuivant la recherche sur la durée et la probabilité de scintillations graves.

Tableau 1. Espace aérien encombré — latitudes moyennes

		Incidences opérationnelles		
		Aucune incidence	Incidence modérée	Incidence grave
Probabilité	Négligeable	Effets ionosphériques	Brouillage intentionnel; mystification	
	Faible		Brouillage non intentionnel	
	Probable			

Tableau 2. Régions éloignées — zones équatoriales

		Incidences opérationnelles		
		Aucune incidence	Incidence modérée	Incidence grave
Probabilité	Négligeable		Brouillage non intentionnel et intentionnel; mystification	
	Faible			
	Probable		Effets ionosphériques	

3. Lorsque l'analyse indique qu'il n'y a pas de vulnérabilités critiques, la mise en œuvre de mesures de gestion du spectre reste essentielle pour réduire, le plus possible, le risque d'interruption de service.

Références

1. Évolution de la sensibilité au brouillage du GPS, Note de travail 91 et Note d'information 119, Réunion spéciale télécommunications/exploitation (COM/OPS) à l'échelon Division (1995)
2. GPS Mitigation Techniques, Note d'information 120, Réunion spéciale télécommunications/exploitation (COM/OPS) à l'échelon Division (1995)
3. RTCA/DO-235, Assessment of Radio Frequency Interference Relevant to the GNSS, 27 janvier 1995
4. GPS Risk Assessment Study, Final Report, publié par le Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory, janvier 1999
5. Vulnerability Assessment of the Transportation Infrastructure Relying on the Global Positioning System, Final Report, publié par le Volpe National Transportation System Center, 29 août 2001
6. Impact on Compatibility of UK Commercial Services Resulting from Loss of GPS Signals, Qinetiq, octobre 2001, commandé par la UK Radio Agency
7. Ionospheric Research Issues for SBAS, SBAS Ionospheric Working Group, septembre 2002