



NOTE DE TRAVAIL

DOUZIÈME CONFÉRENCE DE NAVIGATION AÉRIENNE

Montréal, 19 – 30 novembre 2012

Point 6 : Orientation future

6.1 : Plans et méthodologies de mise en œuvre

**QUESTIONS DE MISE EN ŒUVRE DU SYSTÈME MONDIAL
DE NAVIGATION PAR SATELLITE (GNSS)**

(Note présentée par le Secrétariat)

RÉSUMÉ ANALYTIQUE

La présente note de travail porte sur deux questions se rapportant à la mise en œuvre du système mondial de navigation par satellite :

- a) les signaux du GNSS sont vulnérables à des sources de brouillage, intentionnel ou non, et à d'autres effets. La note suggère des mesures visant à réduire la probabilité de perturbation des services basés sur le GNSS et atténuer les incidences sur les opérations aériennes en cas de perte temporaire des signaux du GNSS ;
- b) des constellations de base GNSS nouvelles et améliorées offrent la possibilité d'avantages accrus du GNSS. La note traite des avantages potentiels et des défis de la mise en œuvre d'un environnement multi-constellation/multifréquences.

Suite à donner : La Conférence est invitée à convenir des recommandations énoncées dans la présente note de travail.

<i>Objectifs stratégiques:</i>	Cette note de travail se rapporte aux objectifs stratégiques Sécurité et Protection de l'environnement et développement durable du transport aérien.
<i>Incidences financières:</i>	Les avantages de la mise en œuvre d'un système mondial de navigation par satellite multi-constellations/multifréquences seront importants en ce qui concerne les performances de navigation. Les incidences en matière de coûts seraient principalement associées à la nécessité de nouveaux équipements d'avionique. Si les vulnérabilités du GNSS n'étaient pas atténuées efficacement, cela empêcherait que les avantages potentiels des services basés sur le GNSS en matière de sécurité et d'efficacité se concrétisent pleinement. Les incidences en matière de coûts de mesures d'atténuation seraient minimales pour toutes les parties prenantes, exception faite de la mise en œuvre d'un système alternatif de positionnement, de navigation et de datation (APNT) (2.5.2), dont les incidences en matière de coûts pourraient être substantielles si l'introduction de nouvelle technologie est nécessaire.

Références:	Annexe 10 — <i>Télécommunications aéronautiques</i> , Volume I — <i>Aides radio à la navigation</i> Doc 9849, <i>Manuel du système mondial de navigation par satellite (GNSS)</i>
--------------------	--

1. INTRODUCTION

1.1 Ces dernières décennies, une mise en œuvre progressive du système mondial de navigation par satellite (GNSS) a eu lieu dans le monde. Le GNSS est aujourd'hui une pierre angulaire de l'infrastructure de communications, navigation et surveillance (CNS) et c'est la base de l'introduction de la navigation fondée sur les performances (PBN). La présente note traite de deux problèmes qui sont apparus au cours de la mise en œuvre du GNSS : la vulnérabilité intrinsèque des signaux du GNSS ; et les défis que comporte l'obtention des avantages découlant de la disponibilité de constellations GNSS multiples.

2. ATTÉNUER LES VULNÉRABILITÉS DU GNSS

2.1 Historique

2.1.1 La très faible puissance des signaux GNSS reçus de satellites rend le GNSS vulnérable au brouillage et à d'autres effets ayant le potentiel d'affecter de multiples aéronefs sur une vaste région. Jusqu'à présent, on n'a pas identifié de vulnérabilités qui compromettraient l'utilisation ultime du GNSS comme système mondial pour toutes les phases de vol. Cependant, les États et les fournisseurs de services de navigation aérienne (ANSP) devraient mettre en œuvre des stratégies d'atténuation pour réduire la probabilité de perturbation des services basés sur le GNSS.

2.2 Sources de vulnérabilités du GNSS

2.2.1 Les sources de vulnérabilités du GNSS peuvent être rangées en catégories, comme suit :

- a) brouillage non intentionnel ;
- b) brouillage intentionnel ;
- c) effets de l'ionosphère et de l'activité solaire (météorologie de l'espace) ;
- d) autres.

2.2.2 Ces sources de vulnérabilité sont brièvement examinées ci-dessous. Voir informations supplémentaires à l'Appendice A.

2.2.3 Un brouillage non intentionnel des signaux GNSS peut venir de plusieurs sources, opérant dans les mêmes bandes que le GNSS ou dans d'autres bandes. Une liste non exhaustive comprendrait les communications VHF mobiles ou fixes, les signaux de télévision, certains radars, les communications par satellite du service mobile, les systèmes militaires, les liaisons hyperfréquences

de point à point, les répéteurs et pseudolites GNSS¹, et les systèmes de bord des aéronefs (avionique et engins appartenant à des passagers).

2.2.4 Le brouillage intentionnel des signaux du GNSS (« *jamming* ») a jusqu'à présent été ciblé généralement sur des usagers extra-aéronautiques, mais il peut affecter aussi les usagers aéronautiques. Un exemple significatif est la prolifération de brouilleurs conçus pour mettre en échec des systèmes de poursuite des véhicules à des fins de « protection de la vie privée » et qui, dans certains cas, perturbent les applications aéronautiques. Comme on se fie de plus en plus au GNSS en aviation et dans d'autres domaines, la menace du brouillage intentionnel pourrait s'accroître.

2.2.5 L'ionosphère est une région de l'atmosphère supérieure qui est partiellement ionisée par le rayonnement provenant du Soleil. Les signaux GNSS sont retardés en fonction de la densité des particules ionisées dans l'ionosphère, qui varie en fonction de l'intensité de l'activité solaire. Deux effets sur les signaux GNSS doivent être considérés : modifications rapides et importantes du retard ionosphérique, et scintillation (fluctuations rapides d'amplitude et de phase). Des modifications du retard ionosphérique entraînent des erreurs de mesure de distance des satellites, auxquelles il faut s'attaquer par la conception du système. Une forte scintillation peut avoir pour résultat la perte temporaire d'un ou plusieurs signaux satellitaires.

2.2.6 En général, la météorologie spatiale peut avoir un impact direct sur le GNSS. Elle peut être définie comme les conditions sur le soleil et dans le vent solaire, la magnétosphère, l'ionosphère et la thermosphère qui peuvent influencer la performance et la fiabilité de systèmes technologiques spatiaux ou basés au sol et mettre en danger la vie humaine ou la santé des membres d'équipage et des passagers des aéronefs.

2.2.7 Les autres vulnérabilités du GNSS comprennent des questions programmatiques (notamment manque de ressources pour assurer le maintien d'une constellation GNSS, échecs au lancement ou pannes imprévues de satellites), ainsi que l'interruption ou la dégradation possible du GNSS pendant un état de crise nationale (voir l'article 89 de la Convention de Chicago) ou à des fins d'essais du système.

2.3 Réduire la probabilité de perturbation des signaux GNSS

2.3.1 Plusieurs mesures peuvent être prises pour réduire la probabilité de perturbation des signaux GNSS dues aux sources décrites ci-dessus.

2.3.2 L'introduction de constellations et de fréquences nouvelles pour le GNSS (voir le paragraphe 3) réduira sensiblement la probabilité de perte de service causée par un brouillage non intentionnel, du fait de la diversité des fréquences et du nombre accru de satellites en vue. La disponibilité de doubles fréquences GNSS aidera aussi à compenser l'effet de retard ionosphérique. Certaines incidences résiduelles de brouillage intentionnel persisteront cependant.

2.3.3 Le principal moyen de réduire la probabilité de brouillage, intentionnel ou non, est une gestion efficace du spectre. Ceci implique la création d'un solide cadre de réglementation pour contrôler l'attribution et l'utilisation du spectre de façon à assurer la protection des fréquences GNSS. Un tel cadre assurerait que des fréquences adjacentes aux bandes GNSS ou harmoniquement reliées à ces bandes ne soient pas utilisées par des systèmes pouvant brouiller les récepteurs GNSS, que l'usage de répéteurs et

¹ Les répéteurs et pseudolites (pseudo-satellites) GNSS sont des systèmes qui émettent des signaux pour venir en complément de la couverture GNSS à l'intérieur de bâtiments et dans d'autres zones où les signaux GNSS normaux ne sont pas facilement reçus.

pseudolites GNSS soit soigneusement réglementé et que l'achat ou l'utilisation de dispositifs pouvant causer un brouillage intentionnel soient interdits. Il convient aussi qu'une possibilité de détecter les sources de brouillage soit prévue à l'appui des programmes d'application.

2.3.4 L'Union internationale des télécommunications (UIT) est l'institution spécialisée des Nations Unies responsable des questions relatives aux radiocommunications. Le Règlement des Radiocommunications de l'UIT a notamment pour objectif d'assurer la disponibilité et la protection contre le brouillage préjudiciable des fréquences prévues pour les services de sécurité de la vie humaine et d'aider à la prévention et à la résolution des cas de brouillage préjudiciable entre services radio de différentes administrations.

2.3.5 Les procédures pour la prévention et la résolution des cas de brouillage préjudiciable sont exposées en détail à l'article 15 du Règlement des Radiocommunications, qui stipule en particulier que « lorsqu'il existe une organisation internationale spécialisée pour un service déterminé, les rapports concernant des irrégularités ou des infractions relatives à des brouillages préjudiciables causés ou subis par les stations de ce service peuvent être adressées à cette organisation en même temps qu'à l'administration intéressée ». Ainsi, les comptes rendus de cas de brouillage affectant l'utilisation du GNSS par l'aviation peuvent être adressés à l'OACI, qui serait alors en mesure d'alerter l'UIT et les organismes appropriés des Nations Unies en ce qui concerne l'impact du brouillage sur l'aviation, en vue de faciliter une prompt résolution du problème.

2.4 Évaluation du risque

2.4.1 Bien que la probabilité de perturbation des signaux du GNSS puisse être sensiblement réduite, comme on l'a vu plus haut, une perturbation ne peut pas être complètement exclue et les ANSP doivent donc être prêts à s'occuper d'une perte potentielle de ces signaux. Ceci exige la réalisation d'une évaluation de risque qui déterminera la probabilité résiduelle d'interruptions du service et l'impact d'une interruption dans un certain espace aérien.

2.4.2 La probabilité sera virtuellement non existante dans des régions océaniques ou faiblement peuplées et c'est aux abords des grands centres de population qu'elle sera la plus élevée. L'évaluation des incidences prendra en considération le type d'espace aérien, les niveaux de trafic et la disponibilité de services de surveillance et de communication indépendants. La probabilité de perturbation due à la scintillation dépendra de la région géographique et exigera une évaluation scientifique.

2.4.3 Les ANSP devront être prêts à agir lorsque des comptes rendus de pilotes font penser à du brouillage. Si l'analyse conclut à la présence de brouillage, les fournisseurs d'ANS devront identifier la région affectée, publier un NOTAM approprié, appliquer une atténuation de la manière décrite ci-dessus, puis localiser la source et l'éliminer.

2.5 Stratégies d'atténuation

2.5.1 La perturbation de signaux du GNSS exigera l'application de stratégies d'atténuation réalistes et efficaces pour assurer la sécurité et la régularité des services aériens et décourager ceux qui cherchent à perturber les opérations. Pour l'atténuation, il sera fait appel notamment aux systèmes inertiels, à des aides terrestres et au radar, ainsi qu'à des méthodes procédurales au niveau du contrôle de la circulation aérienne (ATC) et des pilotes.

2.5.2 Plusieurs États ont mis en évidence la nécessité d'une stratégie alternative de positionnement, de navigation et de datation (APNT, *Alternative Positioning, Navigation and Timing*), dans le but de maintenir dans toute la mesure du possible les services de navigation aérienne en cas d'interruption d'un signal GNSS. Une telle stratégie devrait être coordonnée à l'échelle mondiale (à cet égard, une participation de l'OACI serait utile), être abordable et permettre la mise en œuvre à relativement bref délai. Cela implique de tirer parti des systèmes actuels, puis de définir une trajectoire d'évolution réaliste. Il est prévu que le radiophare omnidirectionnel VHF (VOR), l'équipement de mesure de distance (DME), le système d'atterrissage aux instruments (ILS) et les systèmes inertiels seront des éléments clés, mais le développement de nouvelle technologie pourra être nécessaire, en tenant compte de toutes les applications du GNSS.

2.5.3 Une atténuation par des méthodes procédurales peut également être efficace, en tenant compte des caractéristiques de l'espace aérien, de l'équipement de la flotte, de la charge de travail des pilotes et de l'ATC et des normes de séparation alternatives.

3. GNSS MULTI-CONSTELLATIONS/MULTI-FRÉQUENCES

3.1 Historique

3.1.1 Les services basés sur le GNSS d'aujourd'hui se fondent pour la plupart sur une seule constellation, le système mondial de localisation (GPS), assurant le service sur une seule fréquence. Cependant, une autre constellation, le GLONASS (*GLObal NAVigation Satellite System*) est déjà en fonctionnement, et d'autres sont en cours de déploiement (Galileo et BeiDou). Toutes les constellations fonctionneront en définitive dans des bandes multifréquences. On s'attend à des développements connexes dans le domaine des systèmes de renforcement du GNSS. On trouvera des renseignements supplémentaires au paragraphe 1 de l'Appendice B.

3.1.2 En définitive, le rythme de transition au GNSS multi-constellations dépendra de l'équipement des aéronefs, lequel à son tour dépendra du bilan de rentabilité pour les exploitants aériens, déterminé par les avantages escomptés ainsi que par les coûts et les défis à relever.

3.2 Avantages escomptés

3.2.1 L'usage de signaux GNSS provenant de constellations multiples diffusant en bandes de fréquences multiples améliorera la performance technique du GNSS, ce qui permettra de retirer des avantages opérationnels. Ces avantages sont notamment l'amélioration des performances de navigation, la réduction de la probabilité de perte de service et une couverture accrue du service.

3.2.2 Les améliorations techniques associées au scénario du GNSS multi-constellations, multifréquences sont brièvement discutées ci-dessous. On trouvera des informations supplémentaires au paragraphe 2 de l'Appendice B.

3.2.3 La performance du GNSS est sensible au nombre de satellites en vue. Le GNSS multi-constellations augmentera substantiellement ce nombre. Cela améliorera la disponibilité et la continuité du service, en particulier dans des régions où la scintillation ionosphérique peut causer une perte du verrouillage sur certains satellites. De plus, la disponibilité de plus de trente sources interopérables de calcul de distance appuiera une évolution des systèmes de renforcement embarqués (ABAS) qui pourrait permettre des approches à guidage vertical dans le monde entier avec à long terme un besoin minimal, voire aucun besoin, de signaux de renforcement externes.

3.2.4 La disponibilité d'une seconde fréquence permettra à l'avionique de calculer en temps réel le retard ionosphérique, ce qui éliminera effectivement une source majeure d'erreurs. Les futurs systèmes de renforcement satellitaire (SBAS) seraient capables d'appuyer une disponibilité accrue du service LPV (précision latérale avec guidage vertical) avec des minimums aussi bas qu'une hauteur de décision de 200 ft. La robustesse et la disponibilité de systèmes de renforcement au sol (GBAS) ayant une performance de catégorie II/III serait également améliorée. De plus, comme on l'a vu en 2.3.2, la diversification des fréquences constitue une atténuation très efficace contre le brouillage non intentionnel, car il est fort improbable qu'une source de brouillage non intentionnel puisse affecter simultanément plus d'une fréquence du GNSS.

3.2.5 La disponibilité de constellations indépendantes multiples assurera une redondance pour atténuer le risque de perte de service due à une défaillance majeure de système au sein d'une constellation de base, et répondra aux préoccupations de certains États pour ce qui est de se fier à une constellation GNSS unique ne relevant pas de leur contrôle opérationnel.

3.3 Défis

3.3.1 L'introduction du GNSS multi-constellations, multifréquences comporte un certain nombre de défis nouveaux, au-delà de ceux qui sont déjà associés à la mise en œuvre actuelle du GNSS. Des exemples de tels défis sont notamment : la nécessité d'interopérabilité des signaux de différentes constellations GNSS ; les préoccupations de responsabilité juridique ; le rôle plus complexe de systèmes de renforcement qui pourraient traiter avec différentes combinaisons de constellations GNSS ; et la complexité accrue de l'intégration de l'avionique et des aéronefs et du contrôle opérationnel (en particulier si différents États exigent ou interdisent l'usage de différentes combinaisons de signaux GNSS dans leurs espaces aériens respectifs). Ceci est discuté plus en détail au paragraphe 3 de l'Appendice B à la présente note.

3.3.2 Pour réaliser les avantages du GNSS multi-constellations, il est nécessaire que l'OACI, les États, les ANSP, les organes de normalisation, les constructeurs et les exploitants d'aéronefs coordonnent les activités pour surmonter ces défis. Le but ultime est d'établir un cadre institutionnel et juridique qui permettrait l'utilisation sans restriction de tout élément du GNSS. D'ici là, l'OACI et l'aviation devront développer des solutions pragmatiques pour la réalisation d'une introduction progressive du GNSS multi-constellations.

4. CONCLUSION

4.1.1 La section 2 de cette note a mis en évidence la nécessité de mesures efficaces pour réduire dans toute la mesure du possible la probabilité de perturbation du signal GNSS et atténuer toute perturbation résiduelle. Sur cette base, la Conférence est invitée à convenir des recommandations suivantes :

Recommandation 6/x – Assistance aux États dans l'atténuation des vulnérabilités du système mondial de navigation par satellite (GNSS)

La Conférence demande à l'OACI :

- a) de continuer l'évaluation technique des menaces connues contre le système mondial de navigation par satellite, y compris les questions de météorologie spatiale, et de mettre l'information à la disposition des États ;

- b) de compiler et publier des éléments d'orientation plus détaillés à utiliser par les États dans l'évaluation des vulnérabilités du système mondial de navigation par satellite ;
- c) de développer avec l'Union internationale des télécommunications et d'autres organes compétents des Nations Unies un mécanisme formel pour s'occuper de cas particuliers de brouillage préjudiciable du système mondial de navigation par satellite signalés à l'OACI par des États ;
- d) d'évaluer la nécessité et la possibilité d'un système alternatif de positionnement, de navigation et de datation.

Recommandation 6/x – Planification pour l'atténuation des vulnérabilités du système mondial de navigation par satellite (GNSS)

La Conférence demande aux États :

- a) d'évaluer la probabilité et les effets des vulnérabilités du système mondial de navigation par satellite dans leur espace aérien et d'appliquer, au besoin, des méthodes d'atténuation reconnues et disponibles ;
- b) d'assurer une gestion efficace du spectre et une protection des fréquences du système mondial de navigation par satellite (GNSS) pour réduire la probabilité de brouillage non intentionnel ou de dégradation des performances du GNSS ;
- c) de rendre compte à l'OACI des cas de brouillage préjudiciable du système mondial de navigation par satellite qui pourraient avoir des incidences sur les opérations de l'aviation civile internationale ;
- d) de développer et mettre en vigueur un solide cadre réglementaire régissant l'usage de répéteurs, pseudolites, mystificateurs (*spoofers*) et brouilleurs (*jammers*) du système mondial de navigation par satellite ;
- e) de permettre la réalisation de tous les avantages des techniques d'atténuation embarquées, en particulier les systèmes de navigation par inertie ;
- f) là où il est établi que des aides terrestres sont nécessaires dans le cadre d'une stratégie d'atténuation, de donner priorité au maintien de l'équipement de mesure de distance (DME) à l'appui du système de navigation par inertie (INS)/DME ou de la navigation de surface DME/DME, et du système d'atterrissage aux instruments sur certaines pistes.

4.1.2 Dans la section 3 de cette note, il a été question des importants avantages potentiels de l'évolution en cours du GNSS vers un scénario multi-constellations et multifréquences. Il y a été expliqué aussi qu'il faudra relever plusieurs défis pour s'assurer ces avantages. Sur cette base, la Conférence est invitée à convenir des recommandations suivantes :

Recommandation 6/x – Programme de travail de l'OACI à l'appui de l'évolution du système mondial de navigation par satellite (GNSS)

La Conférence demande à l'OACI d'entreprendre un programme de travail pour s'occuper :

- a) de l'interopérabilité technique des constellations et des systèmes de renforcement du système mondial de navigation par satellite ;
- b) de solutions techniques et opérationnelles pour répondre aux préoccupations d'ordre institutionnel et juridique ;
- c) de l'identification des avantages opérationnels, afin de permettre aux fournisseurs de services de navigation aérienne et aux exploitants aériens de quantifier ces avantages pour leur environnement d'exploitation particulier ;
- d) de poursuivre l'élaboration de normes et pratiques recommandées et d'éléments indicatifs pour les éléments du système mondial de navigation par satellite et d'encourager l'élaboration de normes de l'industrie pour l'avionique.

Recommandation 6/x – Usage de constellations multiples

La Conférence recommande que les États, lorsqu'ils définissent leurs plans stratégiques de navigation aérienne et introduisent de nouvelles opérations :

- a) tirent parti de l'amélioration de la robustesse et de la disponibilité que rend possible l'existence de constellations multiples du système mondial de navigation par satellite ;
- b) publient des informations spécifiant les éléments du système mondial de navigation par satellite qui sont approuvés pour utilisation dans leur espace aérien ;
- c) adoptent une approche fondée sur les performances en ce qui concerne l'utilisation de constellations du système mondial de navigation par satellite (GNSS), en considérant en particulier les difficultés qui découleraient de ce que l'usage de certains éléments du GNSS soit limité ou rendu obligatoire.

APPENDICE A

SOURCES DE VULNÉRABILITÉS DU SYSTÈME MONDIAL DE NAVIGATION PAR SATELLITE (GNSS)

1. BROUILLAGE NON INTENTIONNEL

1.1 Les systèmes GNSS normalisés par l'OACI ou à l'examen pour une normalisation future fonctionnent, ou il est prévu qu'ils fonctionnent, dans les bandes 1559 – 1610 MHz (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou et SBAS) ; 108 – 117.975 MHz (GBAS) ; et 1164 – 1215 MHz (GPS, GLONASS, Galileo et BeiDou).

1.2 Les récepteurs GNSS dans ces bandes doivent satisfaire à des spécifications de performances en présence de niveaux de brouillage définis par l'OACI dans l'Annexe 10 — *Télécommunications aéronautiques* et être utilisés selon les recommandations pertinentes de l'Union internationale des télécommunications (UIT). Un brouillage supérieur aux niveaux définis peut causer une dégradation ou une perte du service, mais les normes relatives à l'avionique exigent que ce brouillage n'ait pas pour résultat une information dangereusement trompeuse.

1.3 Il y a diverses sources de brouillage non intentionnel du GNSS provenant d'émetteurs dans la bande ou hors bande, y compris les communications VHF du service mobile ou du service fixe, les harmoniques de stations de télévision, certains radars, les communications par satellite du service mobile et les systèmes militaires. L'utilisation de la bande de 1559 – 1610 MHz par des liaisons hyperfréquences de point à point, autorisées par un certain nombre d'États, est particulièrement préoccupante. L'utilisation de ces liaisons devrait prendre fin en 2015 au plus tard.

1.4 Des sources additionnelles de brouillage non intentionnel possible sont notamment les répéteurs et pseudolites (pseudo-satellites) GNSS (systèmes qui transmettent des signaux comme complément à la couverture GNSS à l'intérieur de bâtiments ou dans d'autres zones où les signaux GNSS normaux ne sont pas facilement reçus) et le matériel d'essai aéronautique servant de générateur de signal GNSS. Lorsque cet équipement ne fonctionne pas conformément aux conditions spécifiées, il peut brouiller l'avionique GNSS et l'équipement sol CNS. Dans certains cas, ces systèmes peuvent être cause de calcul de positions erronées par des récepteurs GNSS à leur portée. De tels cas seraient détectables car ils auraient des effets tels que de brusques changements de position, immédiatement évidents.

1.5 De nombreux cas d'événements signalés de brouillage du GNSS ont été attribués aux systèmes de bord ; l'expérience a identifié plusieurs sources, notamment l'équipement de communications VHF et satellitaire et les dispositifs électroniques portables. Un tel brouillage peut être évité par une installation appropriée d'avionique GNSS (p. ex. blindage, séparation des antennes et filtrage hors bande), l'intégration avec d'autres systèmes de bord et la restriction de l'emploi d'appareils électroniques portables à bord.

1.6 Les États peuvent réduire grandement la menace de brouillage non intentionnel en appliquant une gestion efficace du spectre, comme on l'a vu dans le corps de la note.

1.7 Les constellations de base GNSS actuelles utilisent une seule bande de fréquence (1559 – 1610 MHz). L'introduction de signaux GNSS sur des fréquences supplémentaires dans la bande 1164 – 1215 MHz éliminera efficacement la probabilité qu'un brouillage non intentionnel cause la perte complète du service GNSS. Des services renforcés dépendant de la disponibilité de fréquences multiples pourraient cependant être dégradés par un tel brouillage.

1.8 Les signaux GNSS additionnels dans la bande 1164 – 1215 MHz à diffuser par des satellites de base de deuxième génération partagent la même bande de fréquences que l'équipement de mesure de distance (DME) et le système de navigation aérienne TACTique (TACAN). Les règles de l'UIT spécifient que le DME/TACAN doit être protégé contre le brouillage. Des études de compatibilité basées sur l'infrastructure DME/TACAN existante ont conclu que l'impact d'un brouillage des radiofréquences sur le traitement des nouveaux signaux GNSS est tolérable. Les études ont conclu aussi qu'une forte densité d'installations DME/TACAN opérant dans la nouvelle bande GNSS ou à proximité pourrait avoir pour résultat un brouillage de signaux GNSS à hautes altitudes. Les États devraient évaluer si un développement de l'infrastructure DME/TACAN est compatible avec une utilisation élargie du GNSS ou réattribuer les tâches DME en dehors des fréquences GNSS.

2. BROUILLAGE INTENTIONNEL ET MYSTIFICATION

2.1 Aujourd'hui, pratiquement toutes les aides à la navigation conventionnelles restent en service, et tous les aéronefs sont encore équipés pour les utiliser. Il n'y a donc guère de motivation à interférer délibérément dans les services aéronautiques basés sur le GNSS. À mesure que l'on se fiera davantage au GNSS, cependant, la menace de brouillage intentionnel (« *jamming* ») pourrait s'accroître.

2.2 Le GNSS est utilisé dans de nombreuses applications : financières, sûreté et suivi, transports, agriculture, communications, prévisions météorologiques numériques, recherche scientifique, etc. L'analyse de la menace intentionnelle doit prendre en considération toutes les applications de la technologie GNSS et la probabilité qu'un brouillage intentionnel dirigé contre des usagers non aéronautiques puisse affecter les opérations aéronautiques. Elle devrait aussi considérer les atténuations mises en place par des services non aéronautiques. Ce qui est surtout préoccupant, c'est la prolifération de brouilleurs (*jammers*) conçus pour mettre en échec, à des fins de protection de la vie privée, les systèmes de poursuite de véhicules.

2.3 Les États doivent évaluer le risque de brouillage intentionnel dans leur espace aérien, et s'en occuper. Si des États déterminent que le risque est inacceptable dans certaines régions, ils peuvent adopter une stratégie d'atténuation, dont il a été question dans le corps de la présente note.

2.4 La mystification (*spoofing*) est la diffusion de signaux analogues à ceux du GNSS pour amener l'avionique GNSS à calculer des positions erronées et à donner un mauvais guidage. Une mystification est moins susceptible de se produire contre le GNSS que contre des aides traditionnelles, étant techniquement beaucoup plus complexe. Pour n'être pas immédiatement détectée, la mystification exige des renseignements précis et continus sur la position des aéronefs. Il est fort difficile de faire correspondre le signal mystificateur à la dynamique d'un récepteur cible et de maintenir une puissance du signal suffisante pour permettre que le récepteur reste verrouillé sur ce signal. Si l'avionique restait verrouillée sur un signal mystificateur, il y a différentes façons dont cela pourrait être détecté : une avionique intégrée pourrait annoncer des discordances entre positions GNSS et INS ou DME-DME ; les pilotes pourraient constater les écarts par la surveillance normale des instruments et des affichages ; et, dans un environnement radar, l'ATC pourrait observer les écarts. Si un aéronef s'écarterait

de sa route, des systèmes d'avertissement de proximité du sol (GPWS) et des systèmes anti-collision embarqués (ACAS) assureraient une protection contre les collisions avec le sol ou avec d'autres aéronefs.

2.5 La mystification est au moins aussi difficile dans le cas d'émissions de données GBAS que dans celui d'aides à l'atterrissage classiques. Pour protéger davantage le GBAS, un dispositif d'authentification rendant la mystification pratiquement impossible a été développé.

3. EFFETS DE L'IONOSPHERE ET DE L'ACTIVITE SOLAIRE

3.1 L'ionosphère est une région de la haute atmosphère qui est partiellement ionisée par le rayonnement solaire. Les signaux GNSS sont retardés dans une mesure variable selon la densité de particules ionisées dans l'ionosphère, densité qui dépend elle-même de l'intensité du rayonnement solaire et d'autres émissions d'énergie solaires. Deux phénomènes ionosphériques doivent être considérés ; modifications rapides et importantes du retard ionosphérique, et scintillation (fluctuations rapides d'amplitude et de phase). Des modifications du retard ionosphérique entraînent des erreurs de mesure de distance auxquelles il faut s'attaquer par la conception du système. Une forte scintillation peut entraîner une perte temporaire des signaux d'un ou plusieurs satellites.

3.2 L'impact de tempêtes ionosphériques sur les opérations en route ou en approche classique est négligeable.

3.3 Une forte scintillation peut perturber les signaux provenant de satellites mais n'affecte pas simultanément de vastes zones de l'ionosphère, car elle se produit plutôt par endroits. Elle n'affecte donc généralement que quelques-uns des satellites qu'un utilisateur a en vue. Les pertes de poursuite d'un signal dues à la scintillation sont de courte durée, mais peuvent survenir à répétition au cours de périodes de plusieurs heures. De telles pertes pourraient causer une dégradation ou une perte temporaire de service du GNSS. Un moyen d'atténuation est la possibilité pour le récepteur de réacquies rapidement un signal du satellite à la suite d'un incident de scintillation. Comme la scintillation affecte toutes les fréquences GNSS, les récepteurs multifréquences n'offriront pas une plus forte protection. Un autre moyen d'atténuation est l'usage de constellations multiples. Si le récepteur est capable de poursuivre de plus nombreux satellites, la probabilité d'interruption du service est grandement réduite car de plus nombreux satellites resteraient in affectés.

3.4 La scintillation est pratiquement inexistante sous les latitudes moyennes, sauf à des niveaux bas à modérés, ce qui peut se produire pendant de rares tempêtes ionosphériques. Une forte scintillation est assez courante dans les régions équatoriales, où elle se produit généralement après le coucher du soleil et avant minuit, heure locale. Une scintillation modérée se produit fréquemment dans les régions de haute latitude et la scintillation peut atteindre des niveaux graves pendant les tempêtes ionosphériques.

3.5 L'usage de doubles fréquences GNSS permet de compenser les retards ionosphériques. Les effets étant dépendants de la fréquence, l'emploi d'une double fréquence permet que les récepteurs GNSS détectent et calculent ces retards ionosphériques.

3.6 Le SBAS peut détecter les effets de tempêtes ionosphériques qui pourraient menacer l'intégrité de corrections radiodiffusées et il peut assurer que des opérations LPV ne se poursuivent pas quand et où les corrections ionosphériques diffusées ne compenseraient pas suffisamment ces effets.

Ce type d'atténuation est efficace parce que des tempêtes ionosphériques suffisamment fortes pour menacer la validité des corrections SBAS sont peu fréquentes (il est prévu qu'elles affectent le service LPV environ 1 % du temps dans les régions correspondant aux latitudes moyennes).

3.7 Alors qu'aux latitudes moyennes de fortes tempêtes ionosphériques peuvent causer peu fréquemment des dégradations du service LPV du SBAS, les dégradations du service dans les régions équatoriales seraient beaucoup plus fréquentes du fait de la formation de larges bandes de particules ionisées accumulées, situées approximativement à 15 degrés au nord et au sud de l'équateur magnétique. Des volumes étroits et allongés appelés *depletions* (ou *bubbles*), dans lesquels la densité de particules ionisées peut tomber bien au-dessous de ce qu'elle est dans l'ionosphère environnante, se développent souvent au milieu de ces bandes juste après le coucher du soleil et ils persistent tard dans la nuit locale. La combinaison de ces phénomènes entraîne de grandes variations spatio-temporelles du retard ionosphérique et pose donc un grand défi à l'intégrité des corrections ionosphériques du SBAS. Il n'est donc pas commode d'offrir un service LPV SBAS dans les régions équatoriales avec un haut niveau de disponibilité.

3.8 Le GBAS diffuse des corrections de pseudo-distance qui tiennent compte de toutes les sources d'erreur, ainsi que des informations d'intégrité qui sont effectives même lorsque l'ionosphère locale est fortement perturbée. Le service GBAS serait cependant perdu si une forte scintillation était cause, pour l'avionique ou la station GBAS, de perte de verrouillage sur suffisamment de signaux satellitaires. La diffusion GBAS elle-même n'est pas affectée par les conditions ionosphériques. Cependant, le modèle de menace ionosphérique utilisé par les moniteurs d'intégrité du GBAS doit être compatible avec les conditions locales, ce qui peut entraîner une moindre disponibilité du service ou davantage de contraintes d'emplacement dans les régions équatoriales que dans les régions de moyenne latitude. Les systèmes GBAS double fréquence peuvent compenser les effets de retard ionosphérique en permettant une performance améliorée avec moins de contraintes.

3.9 En général, la météorologie spatiale peut avoir un impact direct sur le GNSS. La météorologie spatiale peut être définie comme étant les conditions, sur le soleil et dans le vent solaire, la magnétosphère, l'ionosphère et la thermosphère, qui peuvent influencer la performance et la fiabilité des systèmes technologiques spatiaux et au sol, et mettre en danger la vie humaine ou la santé des membres d'équipage et des passagers des aéronefs. Des perturbations dans la couronne solaire² peuvent créer des sursauts radio solaires susceptibles de causer une augmentation du niveau de bruit des radiofréquences dans la ou les bandes de fréquence du GNSS, affectant ainsi la réception des signaux de tous les satellites en vue du côté de la Terre où il fait jour. Dans de rares cas, l'intensité et la bande de fréquence d'un sursaut radio solaire peut faire perdre temporairement aux récepteurs GNSS la trace de tous les satellites en vue. L'expérience a montré que de tels événements pouvaient durer jusqu'à une heure, au cours de laquelle les récepteurs GNSS géodésiques avaient, pendant quelques minutes, perdu trace de tous les satellites en vue. Cependant, la vulnérabilité des récepteurs à de tels incidents dépend dans une grande mesure de leur conception. La conception des récepteurs GNSS de l'aviation est différente de celle des récepteurs géodésiques et aucun impact significatif sur des récepteurs d'aviation n'a été décelé jusqu'à présent.

² Ces perturbations, dites éjections de masse coronale (CME), relâchent dans l'espace d'énormes quantités de matière et de rayonnement électromagnétique et peuvent voyager vers la Terre à des vitesses pouvant atteindre plusieurs milliers de kilomètres par seconde.

4. AUTRES VULNÉRABILITÉS

4.1 Des problèmes programmatiques, tels que le manque de ressources, des défaillances de lancement ou des pannes imprévues de satellites pourraient avoir pour résultat qu'un nombre insuffisant de satellites soient disponibles à l'appui de certains services basés sur le GNSS. Une défaillance du segment contrôle ou une erreur humaine pourrait aussi être cause d'interruptions du service et d'erreurs en mode commun sur plusieurs satellites d'une même constellation. La fourniture de services fiables de constellations satellitaires de base exige une gestion et un financement robustes du système.

4.2 Les États doivent anticiper la possibilité d'interruption ou de dégradation du service GNSS et du service conventionnel d'aide à la navigation pendant un état de crise nationale (voir article 89 de la Convention de Chicago). Les États doivent avoir aussi des plans d'urgence en cas de conflit international ou si un autre État brouille intentionnellement les signaux GNSS de telle façon que le service est interrompu au-delà de ses frontières. Certains États s'occupent des aspects du GNSS relatifs à la sûreté et il peut en résulter de nouvelles procédures pour protéger la sécurité et l'efficacité de la navigation aérienne.

4.3 Dans certains États, les autorités militaires testent occasionnellement les possibilités de leur équipement et de leurs systèmes en transmettant des signaux de brouillage qui bloquent le service dans une certaine région. Cette activité est normalement coordonnée avec les bureaux nationaux du spectre et les ANSP. Les autorités militaires et autres autorités qui emploient des dispositifs de brouillage intentionnel devraient se coordonner avec les ANSP pour leur permettre de déterminer l'espace aérien concerné, d'aviser les exploitants aériens et d'élaborer toutes procédures nécessaires.

4.4 La sûreté des aides de navigation au sol qui appuient la navigation aérienne est de la responsabilité des autorités nationales. La couverture du GNSS s'étend au-dessus du territoire de nombreux États, de sorte qu'il convient de s'occuper de la sûreté au niveau régional ou mondial. Il est important que les éléments du GNSS utilisés par l'aviation civile soient protégés contre le terrorisme ou les actes hostiles.

APPENDICE B

AVANTAGES ET DÉFIS DE L'ÉVOLUTION DU SYSTÈME MONDIAL DE NAVIGATION PAR SATELLITE (GNSS)

1. ÉVOLUTION PRÉVUE DU GNSS AU COURS DES 15 À 20 PROCHAINES ANNÉES

1.1 Constellations de base

1.1.1 Les États-Unis et la Fédération de Russie se proposent d'ajouter des éléments GPS et GLONASS supplémentaires au cours des quelques prochaines années. Pour le GPS, il est planifié d'avoir d'ici à 2020 une possibilité double fréquence complète dans les bandes L1 – L5, sur la base de conceptions du signal améliorées dans la bande L5. À plus long terme, un signal modernisé est envisagé aussi dans la bande L1. Pour GLONASS, il s'agit d'offrir un service double fréquence dans les bandes L1 et L3 avec montée en puissance progressive vers une pleine capacité de la constellation avant 2020. Les plans à plus long terme font appel à des signaux modernisés utilisant un système compatible de modulation du signal dans les bandes L1 et L3, ce qui améliorerait encore l'interopérabilité avec les autres systèmes mondiaux.

1.1.2 Le système européen Galileo offrira des services double fréquence dans les bandes E1 et E5 et utilisera des conceptions du signal offrant une précision et une robustesse améliorées. Son déploiement sera progressif, avec des possibilités de service initiales en 2015 et un déploiement complet de la constellation avant 2020. Le système chinois BeiDou offrira un service régional et mondial double fréquence dans les bandes B1 et B2 avec possibilités de service initiales en 2011 et déploiement de la constellation complète avant 2020.

1.2 Renforcements

1.2.1 Système de renforcement embarqué (ABAS)

1.2.1.1 La disponibilité de plus nombreux signaux de calcul de distance sur deux fréquences en provenance de constellations multiples offre la possibilité d'améliorer la performance au moyen d'un concept avancé de contrôle autonome de l'intégrité par le récepteur (RAIM). Ceci permettrait d'offrir des services renforcés dans le monde entier en comptant moins sur un renforcement externe (SBAS et GBAS). L'intégration du RAIM avancé avec des systèmes inertiels améliorerait encore le service en réduisant la susceptibilité à des incidents de brouillage de courte durée ou de perturbation ionosphérique.

1.2.2 Système de renforcement satellitaire (SBAS)

1.2.2.1 La première évolution du SBAS étendra les zones de service des systèmes existants. Il est prévu que cela se produise au cours des quelques prochaines années avec des services LPV assurés par plusieurs SBAS. La deuxième évolution majeure sera basée sur la mise à profit de signaux double fréquence. Cette étape pourrait inclure aussi l'utilisation de signaux provenant de constellations multiples, mais ceci pourrait être envisagé à un troisième stade. Il est prévu que cela se situe après l'échéance 2020, lorsque suffisamment de satellites de constellations de base offriront la possibilité de double fréquence.

1.2.3 Système de renforcement au sol (GBAS)

1.2.3.1 Les normes de l'OACI pour le service GBAS CAT II/III sur une seule fréquence sont en cours de validation opérationnelle. Une évolution plus poussée du GBAS comportera l'utilisation d'une deuxième fréquence et de plus d'une constellation. Le GBAS Cat II/III double fréquence multi-constellations pourrait être disponible à l'horizon 2020–2025.

2. AVANTAGES

2.1 Introduction

2.1.1 L'usage de signaux provenant de constellations multiples émettant sur fréquences multiples améliore les performances techniques du GNSS. Cela offre l'opportunité de réaliser des avantages opérationnels. Ces avantages incluent une performance améliorée, une probabilité réduite de perte de service et une couverture accrue du service. L'usage de constellations multiples répondrait aux préoccupations de certains États pour ce qui est de se fier à une constellation GNSS unique ne relevant pas de leur contrôle opérationnel. La transition au GNSS multi-constellations pourrait accélérer la réduction des aides classiques.

2.1.2 À ce stade du développement de la technologie multi-constellations et multifréquences, il est possible seulement d'identifier des avantages opérationnels qualitatifs. À mesure que le développement progressera, cependant, les États, les ANSP et les exploitants aériens seront en mesure de quantifier ces avantages.

2.1.3 Les sections qui suivent identifient les principales caractéristiques d'un GNSS multi-constellations et multifréquences, expliquent les améliorations attendues des performances techniques et indiquent comment ces améliorations pourraient offrir des avantages opérationnels.

2.2 Disponibilité de sources additionnelles de mesure de distance

2.2.1 La performance du GNSS est particulièrement sensible au nombre de satellites en vue. Des constellations multiples interoperables offriront des sources supplémentaires de mesure de distance pour améliorer de façon significative la disponibilité et la continuité du service, ce qui accroîtra la robustesse opérationnelle et permettra des applications avancées dans les domaines de la navigation et de la surveillance.

2.2.2 Dans les régions équatoriales, et dans une moindre mesure dans les régions polaires, la scintillation ionosphérique peut être cause de perte de verrouillage sur certains signaux satellitaires, pouvant entraîner une perte de service. La scintillation affecte des parcelles de ciel à un moment quelconque. Avec plus de satellites en vue, la scintillation serait beaucoup moins susceptible d'entraîner une perte de service.

2.2.3 La disponibilité de plus de trente sources interoperables de mesure de distance par le GNSS appuiera une évolution de l'ABAS (p. ex. RAIM avancé) qui pourrait offrir des applications avancées telles que des approches à guidage vertical dans le monde entier, avec, à long terme, une nécessité minime, voire aucune nécessité, de signaux de renforcement externes.

2.3 Disponibilité d'une seconde fréquence GNSS

2.3.1 La principale source d'erreur pour le GNSS à fréquence unique est la difficulté d'estimer l'erreur due à des retards verticaux dans l'ionosphère. La disponibilité d'une seconde fréquence permettra le calcul autonome du retard par l'avionique en temps réel, éliminant efficacement cette source d'erreur et la nécessité que des systèmes de renforcement apportent des corrections à des usagers équipés en double fréquence. De futurs systèmes SBAS renforçant des constellations multiples avec des fréquences multiples seraient capables d'appuyer une disponibilité à presque 100 % du service LPV aux aéroports appropriés, avec des minimums aussi bas qu'une altitude de décision (DA) de 200 ft même dans les régions équatoriales.

2.3.2 Une expansion future du SBAS basée sur l'utilisation de fréquences multiples exigerait nettement moins de stations de surveillance pour appuyer des approches à guidage vertical dans toute l'empreinte satellitaire GEO.

2.3.3 Le GNSS à fréquence unique peut être interrompu par un brouillage non intentionnel, tel que celui que causent des émetteurs défectueux. Une diversification des fréquences sur différentes bandes est une atténuation très efficace contre le brouillage non intentionnel, car il est hautement improbable qu'une source de brouillage hors bande puisse affecter simultanément plus d'une fréquence GNSS. Des signaux provenant de constellations mises à niveau (GPS et GLONASS) ou émergentes seront plus résistants au brouillage du fait d'une puissance plus grande et de conceptions améliorées du signal, avec pour résultat une meilleure possibilité de rejet du brouillage.

2.4 Disponibilité de constellations indépendantes multiples

2.4.1 Des constellations GNSS multiples offrent une redondance pour atténuer le risque de perte de service du fait d'une défaillance majeure du système dans une constellation de base. La disponibilité de sources de calcul de distance et de fréquences additionnelles offertes par des constellations indépendantes améliorera la robustesse opérationnelle, définie comme étant la capacité de maintenir la performance opérationnelle requise en réduisant la nécessité de retour à un système de secours/alternatif moins capable (p. ex. radars, aides de navigation classiques) qui impliquerait dans certains cas une perte de capacité. Le GNSS offre un service mondial sans discontinuité que les systèmes de navigation classiques ne peuvent doubler. Les hypothèses de planification future exigent un accroissement continu de la capacité de l'espace aérien, ce qui entraînera des normes de disponibilité et de continuité plus élevées. Il serait beaucoup plus facile de respecter ces normes dans un environnement multi-constellations.

2.4.2 Le GNSS fournit une référence temporelle précise qui est utilisée pour la synchronisation des systèmes sol, de l'équipement de bord, des réseaux de communication et des opérations. Il est prévu qu'il deviendra plus critique d'avoir une référence temporelle à l'échelle du système dans le futur contexte opérationnel (p. ex. opérations basées sur trajectoires 4D). Le GNSS multi-constellations offrira des sources indépendantes de référence temporelle GNSS pour accroître la robustesse de ces systèmes et des applications connexes.

3. DÉFIS

3.1 Interopérabilité

3.1.1 Le degré d'interopérabilité entre signaux de différentes constellations GNSS influencera directement la complexité et le coût de l'avionique, ce qui influera sur le bilan de rentabilité de l'exploitant aérien. Idéalement, les satellites des constellations multiples seraient « interchangeables », permettant à un récepteur de combiner tous les satellites en une solution unique, ce qui apporterait une amélioration sensible des performances.

3.2 Préoccupations de responsabilité pour un GNSS multi-constellations

3.2.1 Chaque État doit garantir la sécurité des services de navigation aérienne assurés dans son espace aérien souverain. L'expérience du GPS a montré que le fait de compter sur des services GNSS fournis par d'autres États peut susciter des préoccupations de responsabilité juridique. Certains États ont refusé d'approuver toutes opérations basées sur le GNSS.

3.2.2 Une solution pour certains États a été d'utiliser des systèmes de surveillance et/ou de renforcement du GNSS pour surveiller et contrôler de façon indépendante l'usage de services autorisés basés sur le GNSS. L'émergence du GNSS multi-constellations renouvelle la nécessité de définir un dispositif de responsabilité international spécifique pour le GNSS.

3.3 Rôle des systèmes de renforcement

3.3.1 Le rôle des systèmes de renforcement dans le scénario d'un GNSS multi-constellations serait sensiblement plus compliqué pour les usagers et les fabricants d'avionique si différents systèmes de renforcement étaient conçus pour renforcer différentes combinaisons de constellations GNSS.

3.3.2 Les normes actuelles pour le SBAS concernent le GPS et le GLONASS mais ne sont pas extensibles pour renforcer jusqu'à quatre constellations. Une révision de la conception de la structure des messages SBAS pour prendre en charge le GNSS multi-constellations devrait être accomplie conjointement avec la mise à niveau prévue pour le GPS double fréquence.

3.3.3 La situation est semblable pour le GBAS, dont les normes actuellement proposées pour une constellation unique à fréquence unique devront être étendues, au moyen d'un cadre coordonné à l'échelle internationale, pour le GNSS multi-constellations/multifréquences.

3.4 Défis pour le développement de l'avionique et l'intégration des aéronefs

3.4.1 Les défis pour le développement de l'avionique et l'intégration des aéronefs sont associés à la complexité de l'intégration des possibilités et au contrôle opérationnel des récepteurs GNSS.

3.4.2 Bien qu'il puisse être possible de concevoir un récepteur unique qui utilise tous les signaux de la constellation de base et les signaux de renforcement disponibles, un tel récepteur pourrait avoir de nombreux modes de fonctionnement, ce qui en accroîtrait la complexité. L'usage de fréquences multiples présente aussi un défi pour la conception d'antennes qui puissent appuyer l'usage de bandes multiples. L'émergence de nouvelles constellations de base et de nouvelles formes d'ondes de signalisation sur de nouvelles fréquences met au défi les concepteurs de récepteurs de mettre en œuvre des architectures qui puissent s'adapter au nouvel environnement plus complexe, tout en étant simples et

certifiables. C'est un défi que des forums de normalisation de l'industrie (p. ex. Eurocae) sont en train de relever.

3.4.3 Le contrôle opérationnel et l'intégration de l'avionique seraient difficiles si les États exigeaient ou interdisaient l'usage de certaines constellations, de certains signaux ou de certains services de renforcement. Aujourd'hui, où pratiquement toute l'avionique des aéronefs est basée sur le GPS seul, la détermination du système à utiliser dans un espace aérien donné est relativement simple : soit l'État a autorisé l'usage du GPS, soit il ne l'a pas autorisé. Dans un scénario multi-constellations, il existe plus d'alternatives (dépendant de quelles combinaisons de constellations sont autorisées dans chaque État), et l'avionique doit savoir quelles constellations peuvent être utilisées, et où. Le même concept s'étend aux fréquences multiples et à des systèmes de renforcement régionaux multiples comme le SBAS, où une couverture significative du signal de renforcement peut s'étendre en dehors de la région de service. Il serait complexe de mettre en œuvre un moyen de contrôler quand un récepteur utilise différents éléments du GNSS. Impliquer les pilotes dans de telles décisions accroîtrait la charge de travail et la complexité, de sorte qu'un certain niveau d'automatisation est envisagé. De plus, étant donné que la situation va changer avec le temps en ce qui concerne les éléments autorisés ou exclus, et dans quel espace aérien, l'information entraînant une fonction automatisée exigerait une actualisation régulière.

3.4.4 Un autre défi pour l'intégration des aéronefs est l'approbation de navigabilité. Un certificat de navigabilité est délivré par l'État d'immatriculation. Ce certificat indique notamment que l'aéronef a été trouvé conforme à sa conception approuvée, faisant partie du certificat de type délivré par l'État de conception. Le certificat de type est attribué aux concepteurs après qu'ils ont montré que la conception particulière est conforme à la norme de conception de l'État, y compris la réglementation applicable prescrite par l'autorité aéronautique de l'État de conception. La certification de type d'un aéronef qui inclut l'usage d'éléments GNSS non approuvés par l'État de conception sera donc problématique. Cette situation existe déjà, en ce sens que la FAA des États-Unis n'a pas les normes de conception ou les éléments indicatifs nécessaires pour permettre la certification de récepteurs GLONASS. De telles situations sont susceptibles de se compliquer dans l'avenir alors que les constellations de base du GNSS arrivent à maturité à différents rythmes et si différents États de conception et États d'immatriculation approuvent à différents moments différents éléments du GNSS. Ce problème est exacerbé lorsque des États rendent obligatoire ou interdisent l'usage de certains éléments du GNSS.

3.4.5 C'est la volonté de l'aviation de relever les défis liés à la mise à niveau et à la certification de l'équipement de navigation qui jouera le rôle majeur dans la concrétisation des avantages d'un environnement multi-constellations.