

ASSEMBLÉE — 39<sup>e</sup> SESSION

## COMMISSION TECHNIQUE

## Point 33 : Sécurité de l'aviation et surveillance et analyse de la navigation aérienne

SURVEILLANCE DES SYSTÈMES D'AÉRONEFS TÉLÉPILOTÉS (RPAS)  
ET CYBERSÛRETÉ

(Note présentée par la Fédération de Russie)

## RÉSUMÉ ANALYTIQUE

L'intégration de systèmes d'aéronefs télépilotes (RPAS) dans l'espace aérien contrôlé signifie que ces RPAS doivent être surveillés par un télépilote ainsi que par le système ATM. Il a été démontré que la méthode de surveillance la plus acceptable est la surveillance dépendante automatique en mode diffusion (ADS-B). L'absence de données de cybersûreté dans l'ADS-B 1090 ES signifie que ces données doivent être vérifiées à l'aide d'un radar secondaire ou de données de MLat pour une surveillance depuis le système ATM au sol. La vérification de la surveillance air-air à faible portée est uniquement possible à l'aide de données de TCAS, ce qui, pour des raisons de coût, écarte de toute considération une vaste catégorie de petits aéronefs sans pilote. Pour fournir d'autres services de navigation (FIS-B, DGNS, CPDLC, AOC), plusieurs autres liaisons de données seront nécessaires. Ces inconvénients disparaissent si une liaison de communication VDL-4 est utilisée. En outre, un réseau aérien à auto-organisation (SOAN) intégré à la VDL-4 résout entièrement les problèmes de cybersûreté.

**Suite à donner :** l'Assemblée est invitée à considérer soigneusement :

- les avantages d'un télépilote et du système ATM utilisant l'ADS-B pour surveiller les systèmes d'aéronefs télépilotes (RPAS) ;
- le fait que les données d'ADS-B 1090 ES ne bénéficient d'aucune cybersûreté et doivent être vérifiées à l'aide d'un radar secondaire ou de données de MLat pour une surveillance depuis le système ATM au sol, et qu'il n'y a pas de méthodes de vérification acceptables pour la surveillance à bord ;
- les avantages de l'utilisation de la liaison de données VDL-4 pour la surveillance des RPAS et des applications associées, en considérant également le potentiel des réseaux aériens à auto-organisation (SOAN).

<i>Objectifs stratégiques :</i>	La présente note de travail se rapporte à l'Objectif stratégique Sécurité.
<i>Incidences financières :</i>	Financement provenant du budget du Programme ordinaire de l'OACI
<i>Références :</i>	Doc 9924, <i>Manuel de surveillance aéronautique</i> Notes de travail de la Commission de surveillance de l'OACI ASWG TSG WP02-27, SP-ASWG/3 WP-24

<sup>1</sup> Version russe fournie par la Fédération de Russie.

## 1. INTRODUCTION

1.1 Lorsque des systèmes d'aéronefs télépilotes (RPAS) volent dans l'espace aérien contrôlé, ils doivent faire l'objet d'une surveillance, par un télépilote et différents usagers du système ATM.

1.2 En ce qui concerne la surveillance de tout aéronef depuis l'ATM au sol, l'OACI considère en règle générale que les méthodes et outils suivants doivent être utilisés :

- a) surveillance radar fondée sur un radar secondaire dans les modes A/C/S ; il faut un transpondeur à bord des RPAS ;
- b) MLat – l'utilisation d'un système de surveillance multi-position (MPSN) ; il faut un transpondeur à bord des RPAS ;
- c) ADS-B utilisant des signaux de navigation par satellite ; il faut un transmetteur ADS-B émission à bord des RPAS.

1.3 Les RPAS doivent être surveillés par le système d'ATM au sol à l'aide d'une des trois méthodes ci-dessus ou d'une combinaison de ces méthodes.

1.4 Les RPAS doivent également être surveillés par le télépilote au poste de télépilotage (RPS).

1.5 Pour utiliser l'équipement à bord d'un RPAS en mode de transpondeur de radar secondaire, il faut que le RPS soit équipé d'un radar secondaire. À l'heure actuelle, la grande majorité des RPAS dans le monde (jusqu'à 90 %) pèsent 30 kg. Dans les meilleures circonstances, le RPS repose sur un petit camion/fourgonnette, ou le télépilote transporte le matériel permettant de surveiller ou de contrôler le RPAS. Un radar secondaire pour RPAS à la position du RPS n'est pas possible pour des raisons de coût, de taille, de consommation d'énergie et d'autres paramètres techniques.

1.6 Un RPS mobile exclut également la possibilité d'utiliser un MPSN, c'est-à-dire un ensemble de récepteurs radio synchronisés dans le temps et relativement éloignés les uns des autres (15 à 20 km et au-delà).

1.7 L'ADS-B est la seule méthode acceptable pour la surveillance des RPAS depuis le RPS. Ainsi, seule l'ADS-B peut assurer une surveillance air-air directe. Par conséquent, les pilotes peuvent avoir conscience de la situation. Hormis les services de surveillance, d'autres services de navigation aérienne présenteraient un intérêt (applications adjacentes), mis en œuvre à l'aide de la même liaison de données qui fournit les services ADS-B. En raison de contraintes relatives à l'énergie et à la masse, il n'est pas possible d'utiliser un transpondeur de radar secondaire ou un transmetteur MPSN à bord des RPAS.

## 2. LIAISONS DE TRANSMISSION DE DONNÉES POUR LA MISE EN ŒUVRE DE L'ADS-B

2.1 Examinons toutes les liaisons de données normalisées de l'OACI pour l'ADS-B. Elles comprennent :

- a) le squitter (radar secondaire) long sur 1 090 MHz (1090 ES) ;
- b) la liaison de données VHF mode 4 (VDL-4) ;
- c) l'émetteur-récepteur universel sur 978 MHz (UAT).

2.2 L'UAT est utilisé pour des applications régionales aux États-Unis. La fréquence 978 MHz, conformément à l'Annexe 5, Vol. 5, ne doit pas être utilisée pour la surveillance, mais pour la navigation. EUROCONTROL a annoncé que la liaison de données UAT ne sera pas utilisée à l'avenir.

2.3 Par ailleurs, les États-Unis et l'Europe, dans le cadre des programmes NextGen et SESAR respectivement, ont annoncé que tous les aéronefs doivent être dotés de l'équipement commercial 1090 ES Out à partir de 2020. Une très grande majorité d'avions commerciaux Airbus et Boeing ont déjà la liaison de données 1090 ES Out dans leur équipement embarqué. La fonction ADS-B émission n'est pas considérée comme obligatoire dans les programmes NextGen et SESAR.

2.4 Les inconvénients de l'ADS-B sur la base 1090 ES sont notamment les interférences ou la saturation en cas de forte densité du trafic aérien, ce qui provoque une superposition des signaux, et ces derniers ne peuvent pas être distingués. Pour ces raisons, la portée effective de l'ADS-B est de 50 à 70 km dans les zones où le trafic aérien est intense. Étant donné que la fonction ADS-B émission n'est pas obligatoire, les avions qui envoient des messages ADS-B ne disposent pas d'informations sur les conditions de diffusion et ne savent pas si leur signal atteindra les usagers de l'espace aérien.

2.5 Le problème le plus important que pose l'ADS-B sur la base 1090 ES est sa transparence pour les utilisateurs non autorisés et son absence de cybersûreté. Lors de l'envoi de faux messages ADS-B dans l'environnement ADS-B 1090 ES, aucun mécanisme ne permet de distinguer les vrais messages ADS-B des faux.

2.6 Une étude de Costin, Strohmeier, Lenders et Martinovic et une étude de GosNIIAS (State Scientific Research Institute of Aviation Systems) ont démontré la nécessité de rendre obligatoire l'utilisation d'un radar secondaire ou de données de MLat pour vérifier les données ADS-B dans le cadre de la liaison de données 1090 ES dans le système ATM, comme l'indique le document de surveillance aéronautique de haut niveau, Doc 9924, ainsi que les documents de 2016, ASWG TSG WP02-27, SP-ASWG/3 WP-24. Dans ce cas, cependant, en raison du coût élevé du radar secondaire et de la MLat, ce type d'ADS-B n'est pas très efficace et, du point de vue technique, est tout simplement inutile, étant donné que pour déterminer la position des aéronefs dans le système ATM, le radar secondaire et la MLat sont auto-suffisants et aucune ADS-B n'est nécessaire. Selon l'OACI, la vérification des données de surveillance air-air pour l'ADS-B sur la base 1090 ES est possible uniquement avec le système d'alerte de trafic et d'évitement de collision (TCAS) avec une portée limitée. Ainsi, la surveillance air-air en particulier est du plus grand intérêt pour les aéronefs d'aviation générale, les hélicoptères et les RPAS qui ne sont pas dotés d'un TCAS, qui volent à basse altitude et pour lesquels les services de navigation à l'aide de systèmes ATM au sol est problématique d'un point de vue pratique (et pas toujours en demande, d'un point de vue économique). Le déploiement d'un véritable système ATM dans les régions importantes, dans le cas où plusieurs vols d'aéronefs de l'aviation générale/d'hélicoptères ont lieu chaque semaine, ne sera jamais rentable. Dans ces régions, la priorité est d'utiliser l'ADS-Bémission sans avoir

recours à un système ATM. Cependant, si les données de surveillance des aéronefs dans le système ATM avec l'ADS-B émission 1090 ES peuvent être vérifiées à l'aide d'un radar secondaire ou de données de MLat, alors les données de surveillance air-air de l'ADS-B 1090 ES ne peuvent pas en principe être vérifiées en l'absence de TCAS, comme l'a confirmé la Commission de surveillance de l'OACI.

2.7 Ainsi, le déploiement de l'ADS-B 1090 ES demandera de conserver et de poursuivre le développement de l'infrastructure au sol pour le radar secondaire ou la MLat afin de résoudre partiellement les problèmes de cybersûreté (en ne tirant cependant pas profit du principal intérêt de l'introduction de l'ADS-B). Nous devons nous demander pourquoi nous avons besoin de l'ADS-B 1090 ES si elle repose sur un radar secondaire ou sur la MLat qui gère parfaitement et dans de bonnes conditions de cybersûreté les tâches de localisation des aéronefs dans le système ATM. L'ADS-B dans le système ATM a été conçue pour remplacer le radar secondaire ou la MLat, car elle est beaucoup moins coûteuse, plus précise et plus écologique. Il s'avère aujourd'hui que sans radar secondaire ou MLat, l'ADS-B 1090 ES ne peut exister de manière autonome. Le fait que le TCAS soit en mode hybride – ADS-B au stade 1 et TCAS seul au stade 2 – ne constitue pas un argument. Le système peut fonctionner comme TCAS seul sans l'ADS-B et, en outre, comme c'est indiqué ci-dessus, il n'est pas possible de faire entièrement confiance aux données de surveillance à bord d'ADS-B émission provenant d'autres avions en raison du leurrage, qui peut être réalisé facilement par des RPAS spécialement déployés, par exemple. Enfin, la question fatidique : comment les télépilotes de RPAS ayant une masse au décollage d'environ 30 kg sauront-ils si les signaux de l'ADS-B émission sont fiables ou non ? Les RPAS n'embarquent pas de radar secondaire, de MLat ou de TCAS.

2.8 Nous allons aborder la question de la façon dont la VDL-4 règle les problèmes de cybersûreté.

2.9 De faux messages ADS-B peuvent être envoyés même lorsque la VDL-4 est utilisée ; cependant, il existe un mécanisme conforme aux normes qui permet de mesurer la distance entre l'expéditeur et le destinataire du message et, de cette façon, il est possible de savoir quels messages ADS-B sont légitimes.

2.10 Un destinataire, qu'il s'agisse du système ATM ou de l'aéronef, reçoit un message ADS-B provenant d'un expéditeur et ce message contient les coordonnées de ce dernier. Connaissant ses propres coordonnées, le destinataire calcule la distance qui le sépare de l'expéditeur. Par ailleurs, la propriété fondamentale de la VDL-4 est utilisée. Comme le définissent les normes de l'OACI, le message est horodaté. Lorsque l'expéditeur envoie le message, il insère très précisément l'heure. Le destinataire indique également l'heure de réception selon l'échelle de temps. Après avoir calculé l'heure d'envoi et de réception du message et après l'avoir multiplié par la vitesse de distribution des ondes électromagnétiques (vitesse de la lumière), le destinataire calcule la distance réelle mesurée qui le sépare de l'expéditeur. Si les distances entre l'expéditeur et le destinataire calculées à l'aide de différentes méthodes avec une précision acceptable correspondent entre 1 et 2 %, l'expéditeur est digne de confiance. Si elles ne correspondent pas, le destinataire tire certaines conclusions et informe les utilisateurs environnants que l'expéditeur n'est pas digne de confiance.

2.11 Ce processus de vérification des messages fonctionne sur les aéronefs VDL-4 pour la surveillance air-sol et air-air. Nous supposons que dans le système d'ATM au sol, il existe une unité fonctionnelle avec VDL-4 pour que le RPAS interagisse avec le système ATM ordinateur à ordinateur. La vérification des données de surveillance au sol est effectuée dans l'ADS-B réelle en utilisant la VDL-4 et ne nécessite pas de données de radar secondaire ou de MLat. La surveillance embarquée pour les aéronefs qui en sont équipés est vérifiée de manière similaire ; le télépilote du RPAS reçoit des informations sur la position de l'aéronef qui n'en est pas équipé au moyen de la fonction TIS-B, et la position de l'aéronef non équipé est déterminée à l'aide des méthodes d'usage pour ce système ATM.

2.12 Nous devons noter que contrairement à la liaison de données 1090 ES, qui exécute uniquement une fonction principale (surveillance), la liaison de données VDL-4 est dotée de nombreuses autres fonctions, ce qui signifie que l'aéronef doté de la liaison de données 1090 ES et le système ATM n'auront besoin que de trois autres liaisons de données pour transmettre les informations de vol, les signaux relatifs à l'intégrité des signaux de navigation par satellite, la correction différentielle, la communication point à point pour le contrôleur-pilote CPDLC et l'AOC de la compagnie aérienne, entre autres. Étant donné que la VDL-4 peut fonctionner simultanément à plusieurs fréquences, toutes les fonctions sont exécutées dans une seule unité, pour un poids inférieur à 150 g. En utilisant la fonction TIS-B, la DAA au sol empêche les collisions entre les aéronefs équipés de la VDL-4 et ceux qui n'en sont pas équipés.

2.13 Les réseaux aériens à auto-organisation (SOAN) utilisant la VDL-4 constituent un domaine prometteur pour le développement de l'ADS-B. Lors de la 12<sup>e</sup> Conférence de navigation aérienne, des décisions ont été prises en reconnaissant la pertinence de cette solution technique. Outre la robustesse de fonctionnement et la surveillance assurée lorsqu'il n'existe pas de visibilité radio directe entre les RPAS et le RPS pris en charge par le réseau de RPAS, le SOAN permettra de résoudre radicalement les problèmes de sûreté aéronautique. Un système à clés et la cryptographie assureront l'authentification complète des messages radio et les empêcheront d'être interceptés, falsifiés, endommagés, etc., et permettront de répondre pleinement aux défis de la cybersûreté.

### 3. CONCLUSION

3.1 En gardant à l'esprit les particularités des RPAS, depuis la position du RPS, la solution optimale serait une surveillance coordonnée du RPAS par le télépilote à l'aide de l'ADS-B.

3.2 La liaison de données 1090 ES n'offre pas de bonnes conditions de cybersûreté pour les données de l'ADS-B. Les données doivent être vérifiées dans le système de surveillance au sol à l'aide d'un radar secondaire ou de la MLat. Il n'existe pas d'outils satisfaisants permettant de vérifier les données à bord des RPAS. Pour mettre en œuvre des fonctions telles que FIS-B, DGNSS, CPDLC, AOC, au moins trois autres liaisons de données sont nécessaires.

3.3 La liaison de données VDL-4 conforme aux normes protège la position de l'aéronef dans le système ATM au sol ou au cours de la surveillance embarquée dans sa propre ADS-B. D'autres services aéronautiques sont également mis en œuvre avec la VDL-4. Les réseaux aériens à auto-organisation utilisant la VDL-4 offrent un potentiel considérable, en particulier sur le plan de la cybersûreté.