ORGANISATION DE L'AVIATION CIVILE INTERNATIONALE

Deuxième réunion Groupe Afrique-océan Indien de planification et de mise en œuvre du système de l'aviation (AASPG/2)

Livingstone, Zambie, 2 - 6 novembre 2026

Point 4 de l'ordre du jour : Mise en œuvre des objectifs, cibles et indicateurs de sécurité et de navigation aérienne, y compris les priorités fixées dans les plans régionaux de sécurité de l'aviation et de navigation aérienne

Évaluation des risques de collision AFI

(Présenté par ARMA)

RÉSUMÉ
Cette note de travail évalue le risque de collision relative à l'utilisation continue du Minimum de séparation verticale réduite (RVSM) dans la région Afrique-océan Indien (AFI). Il aborde deux objectifs de la politique de sécurité de RVSM AFI : évaluer le risque technique de collision verticale selon un niveau cible de sécurité (TLS) de 2,5 × 10^{-9} accidents mortels par heure de vol et évaluer le risque total de collision verticale de TLS de 5 × 10^{-9} accidents mortels par heure de vol. La note décrit les paramètres du modèle Reigh de risque de collision (CRM) recommandé par l'OACI. La population moyenne d'aéronefs de la région AFI encourage les États à continuer de fournir à ARMA des données d'échantillons de trafic de leurs FIR respectives, ainsi qu'à rapporter les grandes déviations de hauteur (LHD) car elles font également partie des paramètres nécessaires pour calculer l'évaluation du risque de collision (CRA) de l'espace aérien RVSM AFI. La suite à donner par la Réunion figure au paragraphe 3
Strategic Goals — ***A-****Chaque vol est sûr et sécurisé*

1. INTRODUCTION

1.1. Cette note de travail présente une Évaluation du Risque de Collision (CRA) pour l'utilisation continue du Minimum de Séparation Verticale Réduite (RVSM) dans la région Afrique - Océan Indien (AFI) de l'OACI. L'évaluation couvre 27 régions d'information de vol/régions d'information supérieure (FIR/UIR).

1.2. La note aborde deux objectifs de la politique de sécurité RVSM AFI (Réf. 1):

- Évaluer le risque technique de collision verticale selon un Niveau de Sécurité Cible (TLS) de 2,5 × 10^{-9} accidents mortels par heure de vol.
- Évaluer le risque total de collision verticale selon un TLS de 5 × 10^{-9} accidents mortels par heure de vol.

1.3. Conformément au document d'orientation RVSM de la référence 2 et aux évaluations précédentes, les deux évaluations utilisent des modèles de risque de collision appropriés à la région AFI.

2. ANALYSE
Évaluation de la méthodologie et des exigences de suivi

2.1. Le risque technique de collision verticale est le risque de collision entre avions à des niveaux de vol adjacents résultant de déviations de hauteur normales, ou typiques, des aéronefs approuvés RVSM. Cette section décrit comment ce risque est évalué dans la région AFI.

2.2. L'évaluation quantitative utilise le modèle Reich de risque de collision verticale recommandé par l'OACI. Le modèle applique une analyse mathématique aux données de mouvement des aéronefs dans l'espace RVSM afin d'estimer le niveau de sécurité dans la FIR évaluée.

2.3. L'évaluation de sécurité RVSM couvre une période de douze mois consécutifs.

2.4. La surveillance doit confirmer que les exigences suivantes continuent d'être remplies:

- Tous les aéronefs opérant dans un espace aérien minimal à séparation verticale réduite sont homologués RVSM;
- La certification de l'aéronef est à jour;
- Le niveau de sécurité cible (TLS) de $5x10^{-9}$ accidents mortels par heure de vol continue d'être atteint (pour le suivi d'un échantillon représentatif d'aéronefs);
- L'utilisation de la RVSM n'augmente pas le niveau de risque dû aux erreurs opérationnelles et aux procédures de cas d'urgence;
- Il existe des preuves de la stabilité du système d'altimétrie (ASE) de l'aéronef;
- L'introduction de la RVSM n'augmente pas le niveau de risque dû aux erreurs opérationnelles et aux contingences en vol, conformément à un niveau de confiance statistique prédéfini;
- Des mesures de sécurité supplémentaires efficaces sont adoptées pour réduire le risque de collision dû aux erreurs opérationnelles et aux procédures de contingence, et pour atteindre les objectifs de sécurité;
- Les procédures de contrôle du trafic aérien restent efficaces.

Données d'espace aérien et d'évaluation AFI

2.5. L'espace aérien AFI RVSM comprend les 27 FIR/UIR suivants : Accra, Addis-Abeba, Antananarivo, Asmara, Beira, Brazzaville, Cap Town, Dakar, Dar Es Salaam, Entebbe, Gaborone, Harare, Johannesburg, Johannesburg Oceanic, Kano, Kinshasa, Lilongwe, Luanda, Lusaka, Maurice, Mogadiscio, Nairobi, N'Djamena, Niamey, Roberts, Seychelles et Windhoek.

2.6. Alger, les Canaries, Dakar Oceanic, Sal Oceanic, Le Caire, Khartoum, Tunisie, Tripoli et Casablanca ne font pas partie de l'espace aérien RVSM AFI.

2.7. Comme les données sur les grands écarts de hauteur (LHD) étaient limitées, un taux moyen d'occurrence LHD a été estimé et appliqué à chaque FIR selon sa catégorie de trafic. Ces hypothèses ont produit environ 458 événements LHD, avec une durée cumulative de 1 750 minutes.

2.8. Les données de mouvements des aéronefs reçues des 27 FIR AFI ont été traitées pour évaluer la sécurité de l'espace aérien RVSM, comme recommandé par l'OACI. Le tableau ci-dessous regroupe les aéronefs ayant opéré dans ces FIR selon les dimensions typiques et fournit des types d'aéronefs représentatifs.

Groupe d'aéronef	Critères typiques (dimensions)	Avions représentatifs
Générale	Longueur **< 25 m**; Envergure **< 25 m**; Hauteur **< 10 m**	C500, C525, C560, CL60, FA20, FA50, GLEX, GLF series, LJ series, H25 series, TBM7
Aéronefs régionaux	Longueur **25-37 m**; Envergure **19-31 m**; Hauteur **6-11 m**	AT72, AN72, CRJ1/2/7/9, CRJX, E135, E145, E170, J328, RJ85, F70, F100, B190
Aéronef à fuselage étroit	Longueur **30-46 m**; Envergure **27-37 m**; Hauteur **7-14 m**	A318, A319, A320, A321, B721, B722, B732-B739, DC92, DC93, E190, MD81-MD87
Aéronef moyen porteur	Longueur **45-65 m**; Envergure **36-61 m**; Hauteur **12-19 m**	A300, A310, A330, A340-200/-300/-500, B752, B753, B762, B763, B764, B772, B77L, B788, B789, DC10, MD11, L1011
Aéronefs gros porteur	Longueur **> 64 m** or Wingspan **> 60 m**	A340-600, A350-900, A380, B747, B773, B77W
Gros porteur cargo / Aéronef militaire	Gros porteur cargo nécessitant des installations dédiées à la manutention; envergure typique **> 48 m** et/ou Exigences de l'aire de trafic spécialisé	A124, C17, C130, IL76

Tableau 1. Groupes d'aéronefs, dimensions typiques et aéronefs représentatifs

Modèle de risque de collision et insuffisance des données

2.9. Cette section décrit le modèle, les paramètres et les exigences de données utilisés pour évaluer le risque de collision dans l'espace aérien RVSM AFI.

2.10. La méthodologie de risque de collision (CRM), internationalement reconnue, a été utilisée pour l'évaluation de la sécurité de l'espace aérien RVSM dans la région AFI.

Modèle Reich de risque de collision

$$N_{ax} = 2P_y(0)P_z(0)\left(\frac{\overline{|\dot{x}(m)|}}{2\lambda_x} + \frac{\overline{|\dot{y}_0|}}{2\lambda_y} + \frac{\overline{|\dot{z}_0|}}{2\lambda_z}\right)\frac{2\lambda_x}{\overline{|\dot{x}(m)|}}\frac{1}{T}\sum_s E(s)Q(s)$$

Figure 1. Modèle Reich de risque de collision

2.11. Le tableau ci-dessous résume les paramètres, descriptions et valeurs utilisés dans le modèle de risque de collision (CRM) pour évaluer la sécurité de l'espace aérien RVSM.

Paramètre	Description	Values
Sz	Le minimum de séparation verticale, c'est-à-dire l'espacement vertical entre les niveaux de vol adjacents	1 000
$Pz(Sz)$	La probabilité de chevauchement vertical pour les avions volant nominalement à des niveaux de vol adjacents	1.93×10^{-9}
$Py(0)$	La probabilité de chevauchement latéral pour les avions volant nominalement sur la même route	0.12
$nx(\text{same})$	La fréquence à laquelle les avions dans la même direction, situés à des niveaux de vol adjacents sur la même route, entrent en chevauchement longitudinal	0.0700
$nx(\text{opp})$	La fréquence à laquelle les avions en sens opposé, aux niveaux de vol adjacents sur la même route, entrent en chevauchement longitudinal	0.0019
$\lvert\Delta V\rvert$	La moyenne de la valeur absolue de la vitesse relative sur la trajectoire entre deux avions dans la même direction volant à des niveaux de vol adjacents sur la même route	13
V	La vitesse moyenne au sol d'un avion typique	480
$\lvert y\rvert$	La moyenne de la valeur absolue de la vitesse relative de croisement entre deux avions typiques volant à des niveaux de vol adjacents sur la même route	5.0
$\lvert z\rvert$	La moyenne de la valeur absolue de la vitesse verticale relative entre deux avions typiques ayant perdu Sz pieds de séparation verticale	1.5
λx	La longueur moyenne d'un avion typique	0.00785
λy	La largeur moyenne d'un avion typique	0.01880
λz	The average height of a typical aircraft	0.00640

Tableau 2. Paramètres et valeurs du modèle de risque de collision

Faisabilité technique du RVSM dans la région AFI

2.12. L'évaluation de la faisabilité technique implique d'évaluer les paramètres suivants du modèle Reich:

- Fréquence de passage **Nx;**
- Probabilité de chevauchement vertical, **Pz (1000)**.

2.13. Chevauchement vertical et erreur verticale totalePour le démontrer, les objectifs suivants ont été fixés:

- Etablir que le niveau de confiance du TLS technique est atteint; et
- Certifier la stabilité de l'ASE.

Chevauchement vertical et erreur verticale totale

2.14. La probabilité de chevauchement vertical Pz(Sz) pour les avions volant à des niveaux de vol adjacents (séparés par Sz) de la même route ou de routes séquentes est calculée à partir de la distribution de probabilité des écarts de hauteur normaux ou typiques des avions homologués RVSM. Ces écarts de hauteur des aéronefs sont généralement définis en termes d'erreur verticale totale (TVE)

2.15. La figure ci-dessous illustre les composantes de l'erreur verticale totale (TVE).

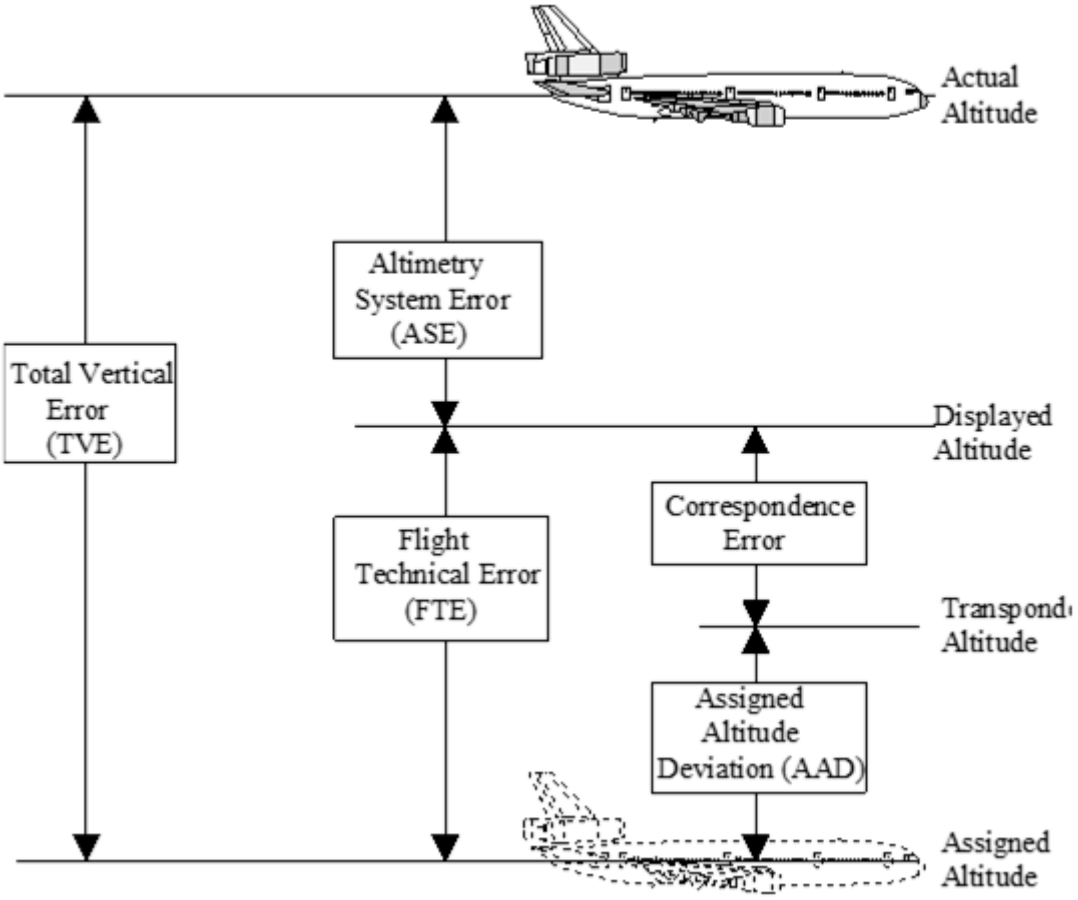


Figure 2. Composantes de l'erreur verticale totale (TVE)

Insuffisance des données et exigences de reporting

2.16. Une estimation représentative du risque technique de collision verticale dans l'espace aérien RVSM AFI nécessite des données complètes du flux de trafic couvrant tous les vols sur toutes les routes allant de FL290 à FL410 inclus. Collectées via le formulaire 4 d'ARMA, ces données soutiennent les estimations des heures de vol totales dans cette bande et le nombre d'événements de passage horizontal par type.

2.17. L'évaluation des événements de passage longitudinal à l'aide du formulaire 4 d'ARMA nécessite des données complètes de progression de vol : identifiants de points de passage, heures de croisement et niveaux de vol associés. Comme des événements de passage peuvent se produire dans n'importe quel segment de route, des temps de croisement sont nécessaires à des points de passage consécutifs. Les données de progression de vol doivent donc couvrir chaque point de passage le long de la trajectoire de chaque avion dans la FIR/UIR afin que tous les scénarios de conflit potentiels soient capturés.

Résultats consolidés du risque de collision

2.18. La figure ci-dessous présente les résultats consolidés du risque de collision pour les FIR AFI pour 2025, incluant le risque estimé de collision verticale par année et par FIR. Les FIR soumettant des rapports LHD montrent des estimations de risque plus élevées ;

cependant, la note précise que ces événements résultent fréquemment de défaillances dans les FIR adjacentes.

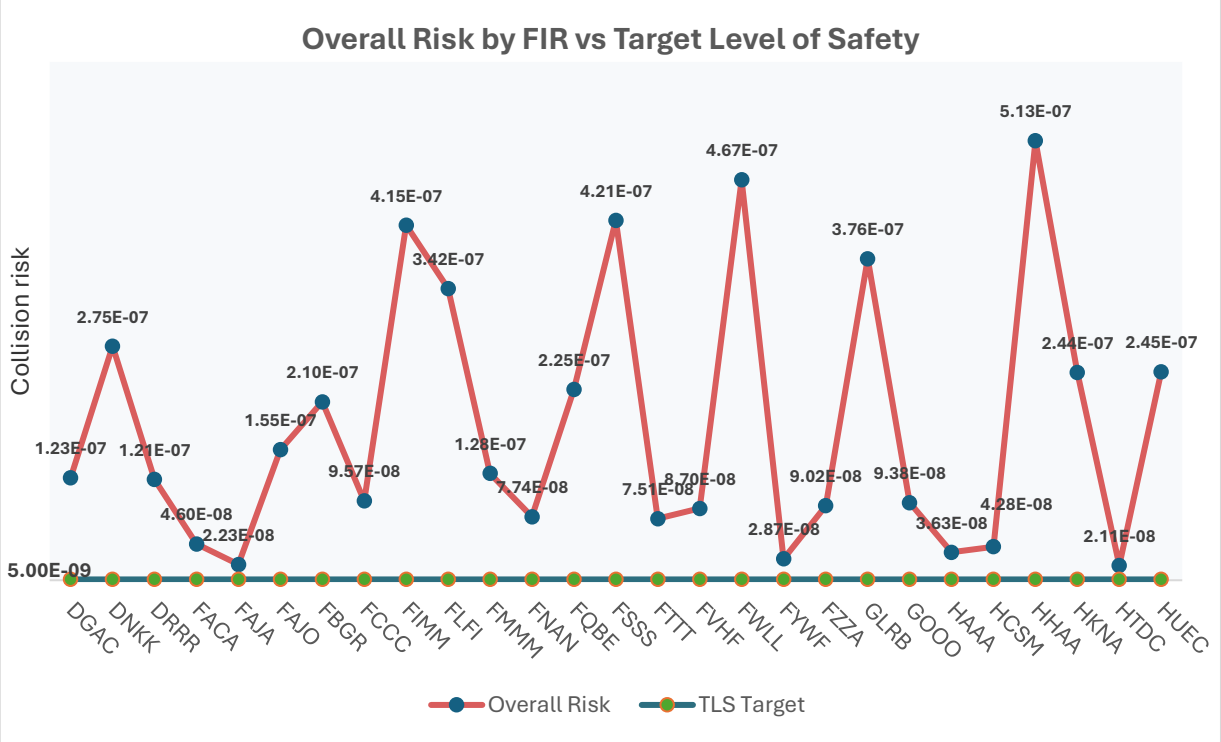


Figure 3. Résultats consolidés du risque de collision pour les FIR AFI, 2025

Safety assessment results and conclusions

2.19. Les valeurs de risque FIR dans le tableau ci-dessous ont été extraites en compilant, traitant et analysant toutes les données de trafic disponibles. Lorsque les données étaient incomplètes ou indisponibles, les estimations étaient basées sur des schémas de trafic établis et des FIR présentant des caractéristiques opérationnelles comparables.

2.20. Les données de trafic de décembre ont été sélectionnées car décembre est généralement l'un des mois les plus chargés de l'année. Cet échantillon offre une représentation prudente du risque maximal pouvant survenir dans l'espace aérien évalué.

FIR	Risque technique total	Risque opérationnel total	Risque global
Accra	2.37E-11	1.23E-07	**1.23E-07**
Addis Ababa	2.37E-11	3.63E-08	**3.63E-08**
Antananarivo	2.37E-11	1.28E-07	**1.28E-07**
Asmara	2.38E-11	5.13E-07	**5.13E-07**
Beira	2.37E-11	2.25E-07	**2.25E-07**
Brazzaville	2.37E-11	9.57E-08	**9.57E-08**
Cape Town	2.37E-11	4.60E-08	**4.60E-08**
Dar es Salaam	2.37E-11	2.11E-08	**2.11E-08**
Dakar	2.37E-11	9.37E-08	**9.38E-08**
Entebbe	2.37E-11	2.45E-07	**2.45E-07**
Gaborone	2.37E-11	2.10E-07	**2.10E-07**

Harare	2.37E-11	8.69E-08	**8.70E-08**
Johannesburg	2.37E-11	2.22E-08	**2.23E-08**
Johannesburg Oceanic	2.37E-11	1.55E-07	**1.55E-07**
Kano	2.38E-11	2.75E-07	**2.75E-07**
Kinshasa	2.37E-11	9.02E-08	**9.02E-08**
Lilongwe	2.38E-11	4.67E-07	**4.67E-07**
Luanda	2.37E-11	7.74E-08	**7.74E-08**
Lusaka	2.38E-11	3.42E-07	**3.42E-07**
Mauritius	2.38E-11	4.15E-07	**4.15E-07**
Mogadishu	2.37E-11	4.28E-08	**4.28E-08**
Nairobi	2.37E-11	2.44E-07	**2.44E-07**
N'Djamena	2.37E-11	7.51E-08	**7.51E-08**
Niamey	2.37E-11	1.21E-07	**1.21E-07**
Roberts	2.38E-11	3.76E-07	**3.76E-07**
Seychelles	2.38E-11	4.21E-07	**4.21E-07**
Windhoek	3.53E-12	2.87E-08	**2.87E-08**
FIR AFI	Risque technique	Risque opérationnel	**Risque**
	3.49E-12	1.03E-08	**1.03E-08**

Tableau 3. Risque technique, opérationnel et global de collision par FIR

Technical and operational risk

2.21. Le risque technique des FIR AFI correspond à la valeur TLS, ne dépassant pas 2,5 x 10-9 accidents mortels par heure de vol en raison de la perte de la séparation verticale standard de 1 000 pieds et de toutes autres causes. Le risque opérationnel n'a pas de limite prédéfinie, conformément au Document 9574 de l'OACI.

Risque total et comparaison avec l'évaluation précédente

2.22. Le risque total estimé de collision pour les FIR évalués est de 1,03 × 10^{-8}. Ce risque est supérieur au TLS de 5,0 × 10^{-9}, soit environ 2,1 fois le TLS. Par rapport à la période d'évaluation précédente, le risque estimé a diminué d'un facteur d'environ 7, indiquant une amélioration significative de la performance de sécurité évaluée. La note attribue cette amélioration principalement à la disponibilité et au partage de données opérationnelles accrues, ce qui a rendu les estimations plus représentatives et réduit la dépendance aux hypothèses prudentes.

Espace aérien RVSM AFI **Heures de vol annuelles estimées** = 1 843 643 **(Note: Temps estimé basé sur l'échantillon de décembre 2025)**			
Source du risque	**Risque estimé**	**TLS**	**Commentaires**
Risque technique	**3.49×10^{-12}**	**2.5×10^{-9}**	En dessous
Risque opérationnel	**3.49×10^{-9}**	-	
Risque total	**1.03×10^{-8}**	**5.0×10^{-9}**	Au dessus

Tableau 4. Estimations du risque de collision RVSM AFI et niveaux cibles de sécurité

3. SUITE À DONNER PAR LA RÉUNION

3.1. La réunion est invitée à:

a) noter et examiner le contenu de cette note de travail;
b) encourager l'amélioration des comptes rendu et le partage des données entre les FIR AFI afin de soutenir des évaluations de sécurité plus fiables; et
c) exhorter les Etats à mettre en place des mesures pour réduire les LHD et améliorer la performance de sécurité dans les FIR AFI.