



INFO SÉCURITÉ DGAC

N° 2024/03

Une info sécurité est un document diffusé largement par la DGAC, non assorti d'une obligation réglementaire dont le but est d'attirer l'attention de certains acteurs du secteur aérien sur un risque identifié.

Cette info sécurité est disponible sur : <https://www.ecologie.gouv.fr/info-securite-dgac>

Opérateurs concernés

Exploitants d'aéronefs
Prestataires de services de la navigation aérienne
Exploitants d'aérodromes

Sujet

Perte de qualité ou d'intégrité du signal GNSS du fait notamment de perturbations illicites
Bonnes pratiques et recommandations
NB : cette info sécurité annule et remplace l'info sécurité 2020-04

Objectif

L'objectif de cette information de sécurité est de rappeler à l'ensemble des acteurs concernés les risques liés à la perte de la qualité de positionnement d'un aéronef du fait d'interférences, sous forme de brouillages des fréquences ou de leurrages des signaux des Global Navigation Satellite Systems (GNSS).

Cette révision détaille les recommandations émises par l'EASA dans la troisième révision de son Bulletin d'information de sécurité (SIB) n° 2022-02R3 du 5 juillet 2024 et elle précise les problématiques et moyens de prévention inhérents aux phénomènes d'interférences du signal GNSS.

Elle contient en annexe une analyse des incidents de sécurité effectuée par la Mission d'évaluation et d'amélioration de la sécurité (MEAS) de la DSAC.

Contexte

a. Introduction

Les GNSS sont des systèmes de positionnement basés sur des signaux émis par des constellations de satellites. Jusqu'en 2007, seul le GPS conçu, développé et entretenu par les États-Unis constituait un GNSS opérationnel. Depuis, le système russe, Glonass, a été mis en service et deux autres systèmes sont en cours de déploiement opérationnel, l'européen Galileo et le chinois Compass/Beidou.

Avec les progrès technologiques et l'amélioration de la continuité, de la disponibilité, de l'intégrité et de la précision de ces systèmes, les GNSS sont devenus indispensables à l'économie mondiale et en particulier, au bon fonctionnement de l'aviation civile.

La généralisation de leurs usages a ainsi modifié en profondeur :

- la gestion du trafic aérien et sa surveillance, y compris pour les mouvements au sol ;
- le suivi en temps réel des opérations aériennes ;
- l'intégration des données GNSS dans les systèmes bord ;
- les moyens et méthodes de suivi de la navigation et des approches ;

- les systèmes de surveillance et de prévention des collisions, principalement avec le sol.

Dès lors, cette dépendance toujours plus grande aux signaux GNSS présente un risque pour l'ensemble des acteurs. C'est pourquoi l'OACI, l'EASA et les autorités nationales s'organisent pour réduire les possibles effets des perturbations de tels systèmes.

Cette information sécurité vise donc à inciter les opérateurs aéronautiques à :

- intégrer dans leurs méthodes de travail les risques occasionnés par des dégradations de signaux GNSS ;
- rendre compte aux services ad-hoc des dysfonctionnements observés afin que l'État puisse intervenir autant que possible contre ces perturbations.

b. Les menaces

Par conception, les signaux GNSS sont de faible puissance et sont donc vulnérables au brouillage ou au leurrage du signal. Il existe ainsi de multiples sources de brouillage ou de leurrage potentielles, telles que :

- des dispositifs de « protection de la vie privée » (PPD), achetés illégalement, qui permettent à leurs utilisateurs de ne pas être repérés ;
- des dispositifs plus puissants utilisés pour protéger des sites sensibles et des lieux de visites ou de résidence d'autorités ou de personnes influentes ;
- des dispositifs militaires utilisés lors de conflits ou de manœuvres de grande ampleur ;
- des installations présentant un dysfonctionnement, provoquant des brouillages involontaires, tels que relais de télévision ou de radio, répéteurs GPS utilisés dans des centres de maintenance.

Le brouillage (jamming) du signal GNSS génère des interférences perturbant la réception des signaux satellitaires, les rendant ainsi inexploitable par les systèmes embarqués des utilisateurs.

Le leurrage (spoofing) consiste, quant à lui, à diffuser des signaux satellitaires contrefaits pouvant tromper les récepteurs GNSS, les amenant à calculer des données de position, de navigation et de temps incorrectes.

Dans la suite de la présente info sécurité, le terme « interférence » sera utilisé pour décrire indistinctement un phénomène de brouillage ou de leurrage.

c. L'enseignement tiré des notifications

L'analyse des comptes rendus des événements notifiés à l'autorité française de l'aviation civile, issus de la base de données ECCAIRS France, montre que la menace d'interférences est réelle. A l'étranger, notamment au Moyen-Orient et en Afrique, du brouillage et du leurrage de grande ampleur ont été rapportés, conduisant dans certains cas extrêmes à des écarts importants de trajectoire ou des incertitudes sérieuses de positionnement avec des conséquences potentiellement graves.

Dans un contexte de forte augmentation du nombre d'événements avérés depuis 2023, une analyse des événements de sécurité relatifs au leurrage a été réalisée par MEAS. Cette analyse est jointe en annexe.

d. Robustesse des systèmes de bord au phénomène d'interférence GNSS

Les effets d'interférences GNSS sur les systèmes de bord sont très variables d'un équipement et d'un type d'avion à l'autre.

Dans certains cas, l'équipage n'est pas informé des phénomènes rencontrés et seules des investigations au sol permettent d'identifier de tels événements. A contrario, certaines fonctions de navigation peuvent être fortement dégradées, en particulier lors d'approches LPV qui nécessitent une grande précision de navigation horizontale et verticale.

La robustesse des systèmes de bord aux interférences GNSS dépend de leur conception et de l'étendue du phénomène. Ainsi, la prise en compte des données inertielles et des moyens de radionavigation, en particulier des DME, améliore significativement la résilience aux interférences d'un système de navigation s'appuyant en partie sur le GNSS.

e. Risques identifiés pour la conduite du vol

De données de navigation corrompues liées à du brouillage ou du leurrage peuvent avoir un impact sur la sécurité. En effet, les vols réalisés dans ces conditions conduisent à une altération du niveau de conscience de la situation d'un pilote ou d'un équipage, et induisent des doutes préjudiciables à une bonne prise de décision.

Il a ainsi été notifié qu'à la suite d'interférences GNSS, des systèmes embarqués ont fourni des informations incohérentes et généré des alarmes inappropriées. Ce fut par exemple le cas avec une « fausse alarme » EGPWS qui s'est déclenchée alors que l'avion était en finale ILS, obligeant l'équipage à une remise de gaz.

Par ailleurs, selon la phase de vol, les conséquences de tels événements peuvent s'avérer critiques. Ainsi, lors d'un départ, d'une approche ou d'une remise de gaz, la décision d'un changement de procédure est difficile à mettre en œuvre et la documentation aéronautique n'est pas forcément adaptée à ce type de changement.

Il est admis que la différenciation des effets du brouillage et du leurrage GNSS sur les systèmes embarqués n'est pas évidente. La détection d'un phénomène de brouillage est néanmoins facilitée par des effets immédiats sur les systèmes bord, comme des alertes signalant la perte de la réception GNSS, permettant ainsi la mise en œuvre rapide des atténuations adéquates. L'identification d'un leurrage est plus délicate, car dépendante de l'architecture des systèmes bord, les effets pouvant se cumuler dans le cas d'interdépendances entre systèmes et se prolonger dans le temps. De même, les systèmes d'augmentation GNSS (SBAS, GBAS) ne prémunissent pas les aéronefs des effets résultant aussi bien du brouillage que du leurrage. Par conséquent, la gravité des effets liés au leurrage est considérée comme supérieure à celle associée aux effets du brouillage.

Pour un pilote ou un équipage confronté à une situation d'interférences, il est important de signaler ces difficultés au prestataire de service de la navigation aérienne qui pourra proposer, dans la plupart des cas, une solution pour rejoindre une altitude ou une trajectoire de sécurité.

f. Eléments de risque Facteurs Organisationnels et Humain (FOH)

Les événements de brouillage ou de leurrage sont de nature à générer :

- une augmentation significative de la charge de travail des équipages et des contrôleurs aériens ;
- des phénomènes de Startle-effect ;
- la non prise en compte de certaines alarmes pourtant justifiées.

La récurrence de ces événements pourrait ainsi conduire :

	→ à une normalisation de la menace et du contournement des alarmes ; → à une lassitude et une accoutumance au traitement de la menace ; → à une forme de tolérance aux déviations et à des tentations de ne plus appliquer rigoureusement des procédures. g. Moyens de lutte contre les interférences GNSS Pour lutter contre les actes intentionnels de brouillage de fréquences sur le territoire national, la France s'est dotée d'un arsenal juridique. Ainsi : « L'importation, la publicité, la cession à titre gratuit ou onéreux, la mise en circulation, l'installation, la détention et l'utilisation des brouilleurs sont, hormis pour les besoins de l'ordre public, de la défense et de la sécurité nationale, ou du service public de la justice, strictement interdites et punies de peines pouvant aller jusqu'à 30 000 euros d'amende et six mois d'emprisonnement (articles L33-3-1 et L39-1 du CPCE) ». Pour faire appliquer ces règlements, l'ANFR dispose d'équipes de recherche et des technologies lui permettant de constater toute infraction de ce type. En outre, afin de s'assurer de la bonne disponibilité des systèmes GNSS et de suivre l'évolution des risques occasionnés par les interférences GNSS, la DGAC a mis en place une équipe d'experts, capables d'identifier l'origine des phénomènes de brouillage et de déclencher l'intervention des équipes de l'ANFR. Enfin, dans le cadre de la coordination interministérielle Galileo, la DGAC participe à un groupe de travail de lutte contre les interférences GNSS. Ce groupe de travail est animé par l'ANFR. Par ailleurs, la DGAC comme les autres autorités nationales, est associée aux échanges entre l'EASA et les constructeurs sur ce sujet.
Actions recommandées	h. Actions de prévention Devant l'augmentation des cas d'interférences GNSS, la DSAC émet des recommandations à l'ensemble des acteurs de l'aviation civile afin que ces derniers puissent efficacement se préparer à gérer de telles situations. Ces recommandations s'inspirent de, et sont cohérentes avec, celles diffusées au travers du SIB EASA 2022-02R3 dans sa révision 5 de juillet 2024. Il est recommandé en particulier aux <u>exploitants d'aéronefs et aux équipages</u> d'appliquer les actions suivantes : → préparer et former les équipages de conduite à la détection des phénomènes d'interférences GNSS et application de procédures d'atténuation ou d'urgence adaptées ; → intégrer des cas de pannes ou d'indications erronées liés au brouillage et leurrage GNSS dans les programmes de formation périodique des équipages de conduite, avec la mise en évidence de scénarios opérationnels permettant de reconnaître et réagir aux différents cas de brouillage et leurrage GNSS ; → sensibiliser et former les équipages de conduite à l'importance de signaler aux services de la circulation aérienne via un message AIREP (Air Report) toute observation d'interruption, dégradation ou performance anormale des équipements liée aux interférences GNSS ; → s'assurer que les équipages connaissent et utilisent la phraséologie associée aux situations de perturbations GNSS ; → en fonction du type d'opérations, de mettre à disposition de l'équipage de conduite des informations pertinentes améliorant leur sensibilisation aux événements de brouillage et de leurrage GNSS ;

	→ évaluer les risques opérationnels et limitations liées à la perte ou l'altération du signal GNSS, en prenant notamment en compte l'impact sur les systèmes embarqués utilisant l'information GNSS (par exemple les impacts sur le système de surveillance TAWS) ; → maintenir un contact permanent avec le constructeur et/ou l'équipementier pour prise en compte et mise à jour des méthodes de détection et de traitement des cas d'interférences affectant leurs produits, incluant la mise en œuvre de leurs recommandations d'évolution des procédures opérationnelles ; → vérifier la disponibilité des systèmes bord permettant la conduite du vol sans GNSS, dans les limites autorisées par la liste minimale d'équipement (LME), pour tout vol réalisé dans des zones géographiques où les risques d'interférences GNSS sont connus ; → vérifier qu'en cas d'exploitation sous LME, le système de substitution ou la procédure opérationnelle ne sont pas dépendants de données GNSS pour tout vol réalisé dans des zones géographiques où les risques d'interférences GNSS sont connus ; → vérifier la disponibilité de procédures en route, de départ/arrivée et d'approche ne s'appuyant pas sur une solution GNSS lors des phases de planification et d'exécution du vol. Cette vérification doit prendre en compte la capacité de l'ATC à fournir un guidage radar dans les zones affectées; → Exploiter les données issues de l'analyse des vols (si disponible) pour la caractérisation et l'évaluation des événements de brouillage et leurrage GNSS. Dans le cas spécifique d'événements liés à du brouillage GNSS, il est ainsi recommandé de s'assurer que les équipages de conduite et les personnels des opérations aériennes : → ont pris connaissance de la possibilité de brouillage du signal GNSS dans les différentes zones/régions traversées ; → vérifient la position de l'aéronef à l'aide de moyens conventionnels de radionavigation pour les vols à proximité des zones où le risque de brouillage GNSS est connu ; → s'assurent que les aides à la radionavigation nécessaires au vol et à l'approche sont disponibles ; → sont préparés à basculer sur des procédures d'arrivées basées sur des moyens conventionnels lorsque nécessaire et à informer les services ATS en conséquence ; → signalent aux services ATS toute anomalie GNSS via un message AI-REP. Dans le cas spécifique d'événements liés à du leurrage GNSS, il est ainsi recommandé de s'assurer que les équipages de conduite et les personnels des opérations aériennes : → ont pris connaissance de la possibilité de leurrage du signal GNSS dans les différentes zones/régions traversées ; → surveillent le positionnement aéronef en s'appuyant sur des moyens de navigation conventionnels et les informations disponibles sur la performance de navigation (EPU, EPE, ANP) ; → surveillent l'heure et la date GNSS ; → veillent les fréquences ATC à proximité des zones de leurrage GNSS connues ;
--	---

	➔ suivent les instructions des constructeurs et équipementiers en cas de suspicion de leurrage GNSS ; ➔ signalent aux services ATS toute suspicion de leurrage GNSS via un message AIREP ; ➔ ont conscience qu'après la traversée d'une zone de leurrage GNSS, les systèmes GPS de bord peuvent rester corrompus par des données non fiables pendant toute la durée du vol restant et entraîner des défaillances de systèmes en aval, notamment : FMS, EGPWS (déclenchement à tout instant d'une alarme de type « Terrain Pull Up »), Datalink, RNP pouvant compromettre la sécurité des vols. Les équipages doivent donc impérativement appliquer les consignes établies par leur compagnie sur la base des recommandations des constructeurs. Il est également recommandé aux prestataires de services de navigation aérienne de s'assurer que les contrôleurs connaissent la phraséologie spécifique aux situations de perte de signal GNSS, et qu'ils sont formés pour réagir à ces situations, en évaluer la criticité et proposer des solutions alternatives aux équipages. i. Mise en œuvre des moyens de lutte contre les interférences La mise en œuvre de ces moyens d'actions repose sur la connaissance de ces événements. Il est donc impératif que les équipages et les exploitants qui subissent un phénomène d'interférence GNSS, outre les obligations de notification à l'autorité, rendent compte, dans les meilleurs délais, de ces événements au prestataire de service de la navigation aérienne. Celui-ci déclenchera alors les actions tant côté interne, autorité de surveillance (DSAC), que ANFR. Par ailleurs, pour lutter efficacement contre l'utilisation illicite de dispositifs de brouillage / leurrage, il est demandé aux personnes ou aux exploitants qui subissent un préjudice de porter plainte. Cette action, qui peut être entreprise en ligne, est la seule permettant à l'État d'intervenir pour sanctionner l'auteur de tels actes. j. Retour d'expérience et notifications : Pour permettre aux exploitants et à l'autorité de suivre l'évolution des risques occasionnés par cette menace, il est rappelé que conformément au règlement (UE) N° 376/2014, ces événements doivent faire l'objet d'une notification. Ces comptes rendus doivent indiquer la localisation et la durée de ces phénomènes.
Références	OACI : 40ème assemblée de l'OACI : commission technique OACI : Doc 9849 Troisième édition, 2017 : Manuel du système mondial de navigation par satellite (GNSS) IATA : Harmful Interference to Global Navigation Satellite System (GNSS) and its impacts on flight and air traffic management operations 29 avril 2019 AIRBUS : Safety First : GNSS Interference, september 2019 FAA Safety Alert For Operators : 24002, 25 janvier 2024 ANFR : un brouilleur de GPS ne bloque pas que votre GPS EASA : Bulletin d'information de sécurité n°2022-02 R3 du 05 juillet 2024 Règlement SERA, FRA.APPENDICE 6 : Expressions conventionnelles Manuel de phraséologie à l'usage de la circulation aérienne générale : 10ième édition ou ultérieure

ANNEXE : analyse des évènements de sécurité citant le leurrage ou le brouillage des signaux GNSS

Sources : données ECCAIRS France sur la période courant du 01/01/2024 au 08/06/2024

Cette étude examine les incidents avérés de leurrage, caractérisés par : un dérèglement de l'horloge de bord supérieur à 5 minutes, des alertes GPWS inappropriées en vol, ou un impact significatif sur la précision des informations de position de l'appareil. Elle met en évidence le risque leurrage sur la sécurité aérienne.

Les comptes-rendus ont été obtenus par une requête utilisant des mots-clés associés au leurrage, tels que « spoof/leurr ». Par la suite, ces rapports ont été filtrés et annotés par des analystes de la DSAC afin de consolider la pertinence des informations recueillies.

Une augmentation significative des événements de leurrage a été constatée, avec 238 cas avérés pour l'année 2024, comparativement à une dizaine au premier semestre 2023.

Il est intéressant de noter qu'une proportion importante de ces activités de leurrage a conduit à des alertes tardives du GPWS, survenant en approche ou en finale **après des incidents de leurrage survenus lors du décollage ou en croisière.**

Par ailleurs, 21 zones de Flight Information Région (FIR) ont été identifiées comme des lieux récurrents de leurrage.

Notons que ces chiffres sont basés sur la remontée d'information de la part des pilotes ce qui peut conduire à plusieurs biais d'interprétation liés :

- à la difficulté d'identification de la situation de leurrage (peut être confondue avec du brouillage ou simplement pas détectée) ;
- à la Culture de notification des événements de perturbations GPS : au vu de l'augmentation des ces événements quasi quotidiens dans certaines zones, certains acteurs pourraient ne pas tous les notifier ;
- au fait que la caractérisation des impacts opérationnels n'est pas basée sur des observations objective de capteurs mais plutôt sur les descriptions des événements fournies par les équipages ;
- au fait que les informations de localisations sont tributaires de la précision du texte de description de l'événement par les pilotes ;

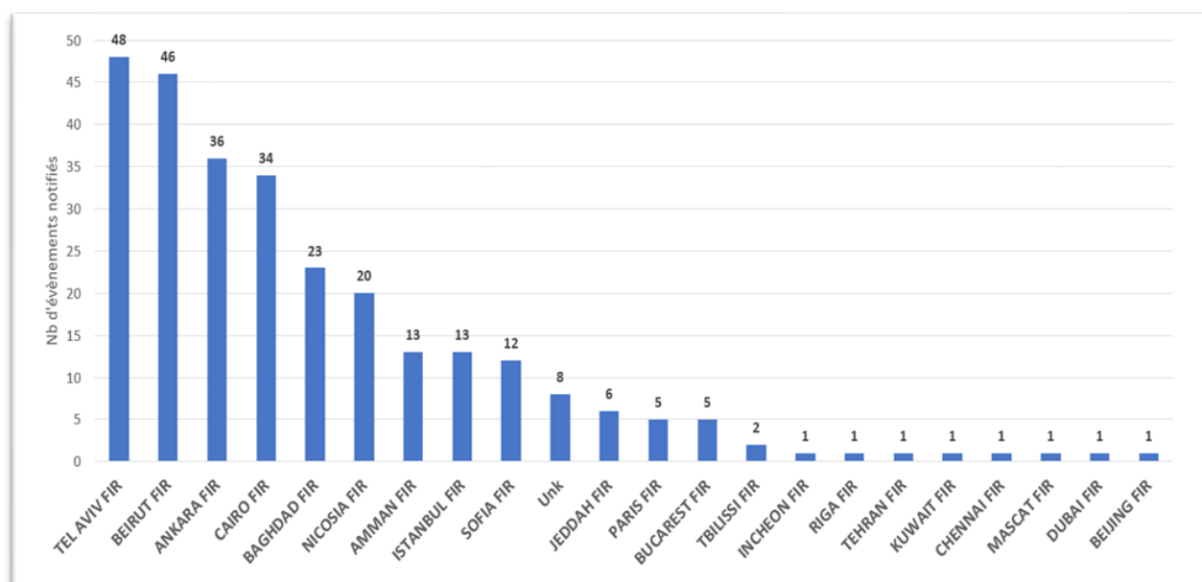


Figure 1: Zones de leurrage identifiées par les notifications d'évènements de sécurité: juin 2024

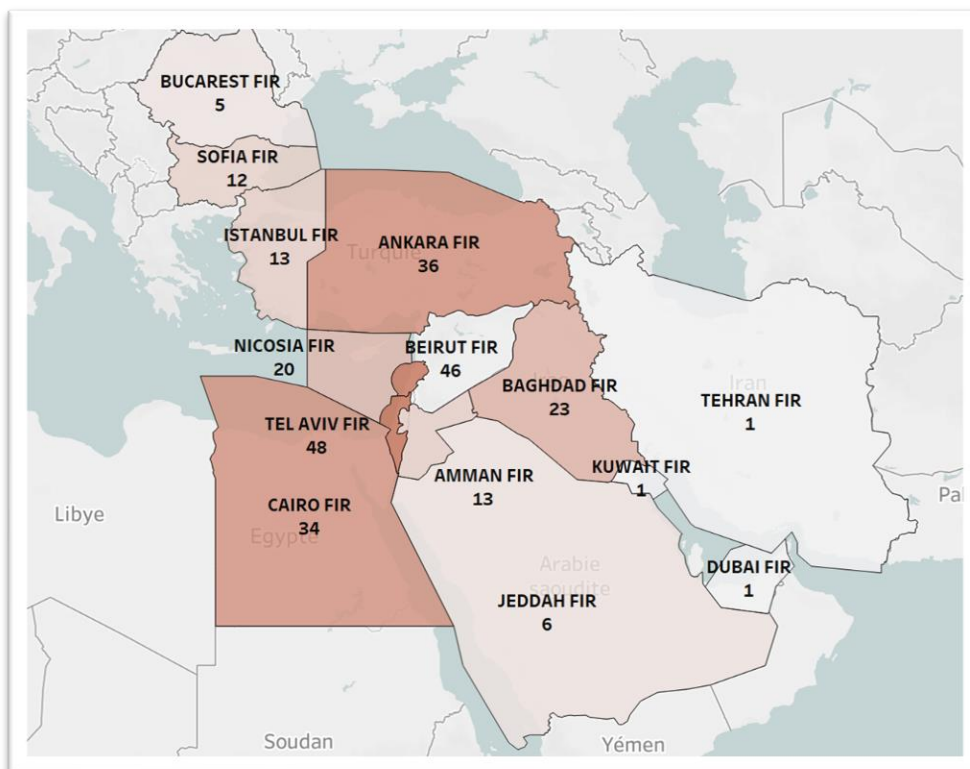


Figure 2: carte des zones de leurrage identifiées par les événements en 2024, zoom Moyen Orient / Mer Noire (extraction 8 juin)

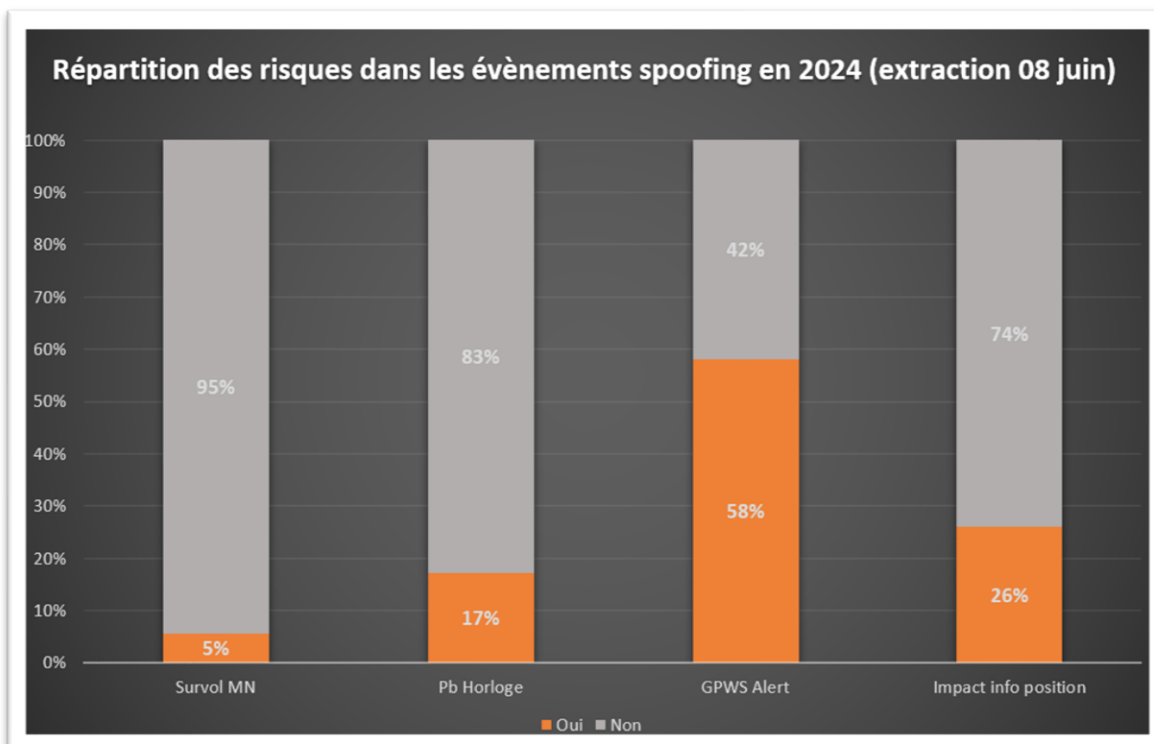


Figure 3: répartition des risques leurrage en 2024 : extraction juin 2024

5% des événements leurrage mentionnent explicitement le survol de la mer Noire durant la perturbation du signal GPS, 17% des événements leurrage traitent d'un dérèglement de l'horloge bord de plus de 5 min.

Répartition de ces évènements sur la période étudiée :

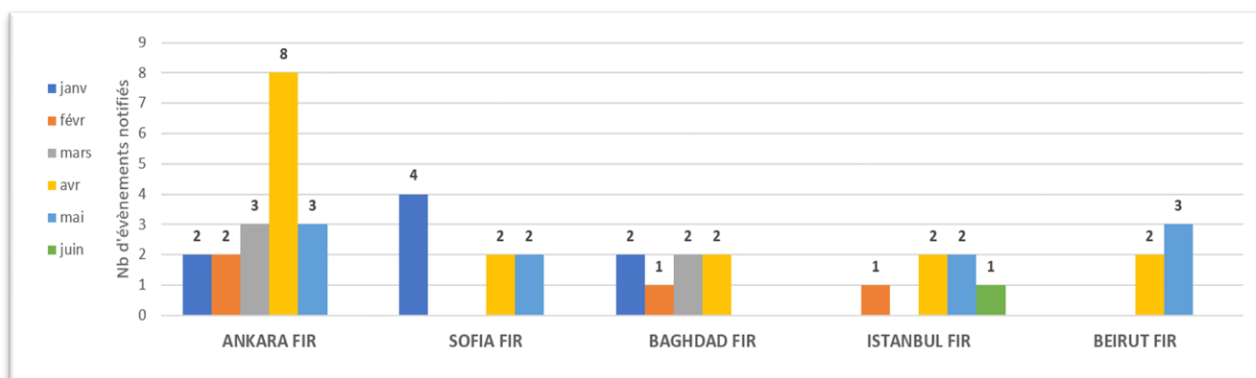


Figure 4 : zones de leurrage ayant conduit à des dérèglements d'horloge en 2024 : extraction juin 2024

58% des évènements leurrage font état d'une ou des alertes GPWS intempestive(s) durant le vol

Répartition de ces évènements sur la période étudiée :

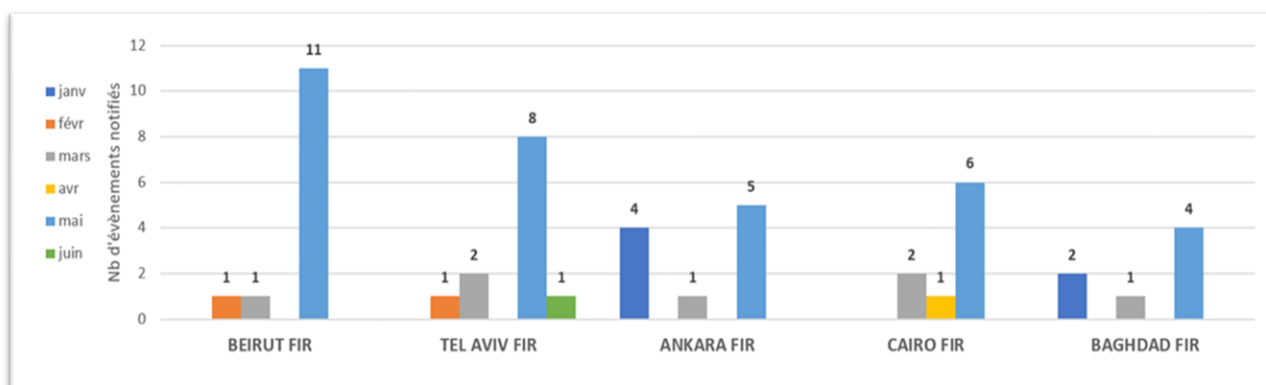


Figure 5 : zones de leurrage générant des problèmes de positionnement : extraction juin 2024

Plus d'un quart des évènements leurrage mentionne des conséquences significatives sur la précision de localisation de l'avion

Répartition de ces évènements sur la période étudiée :

11 comptes rendus indiquent des incidents de leurrage dans des zones identifiées, avec des répercussions ressenties ultérieurement dans une autre région.

Cela survient alors que le phénomène semblait maîtrisé, soulignant la persistance et la complexité des impacts associés à ce type de cybermalveillance.

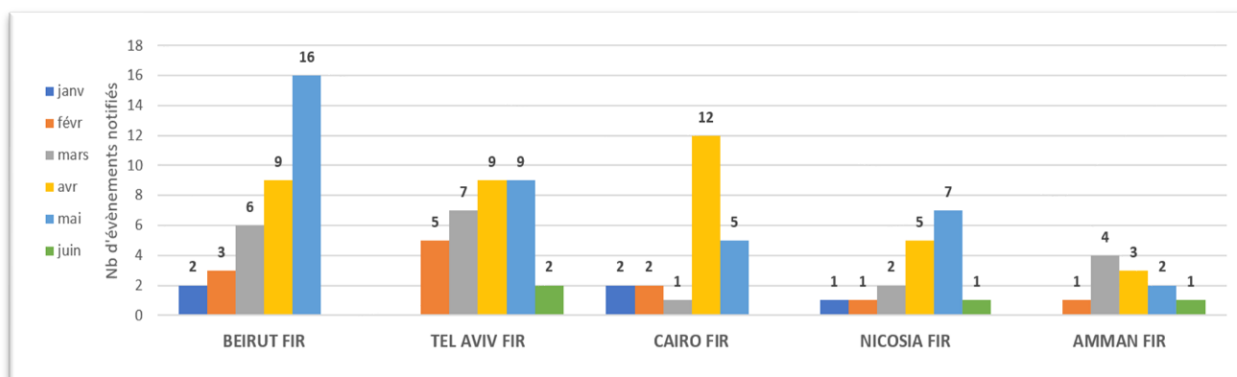


Figure 6 : zones de leurrage entraînant des fausses alarmes GPWS : extraction juin 2024

5 d'entre eux ont ressenti ces impacts une fois en approche ou en finale de retour en France (4 en FIR Paris et 1 en FIR Marseille)

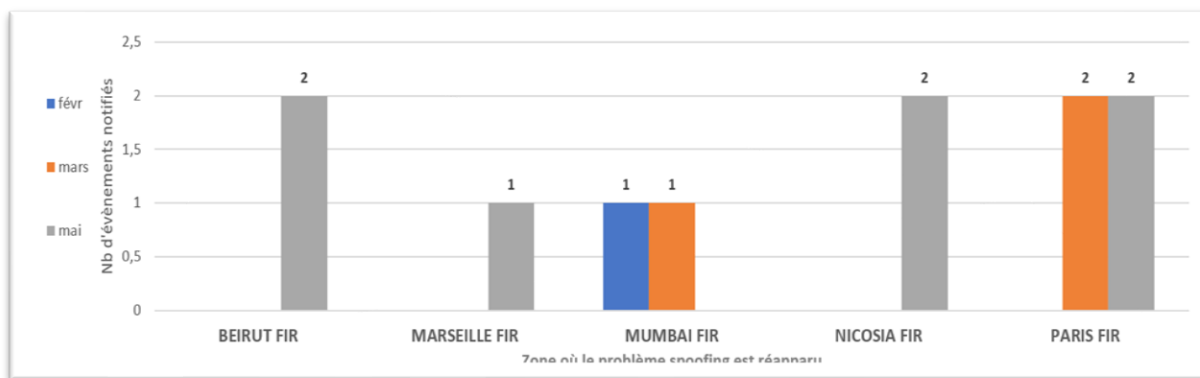


Figure 7 : zones touchées par des effets tardifs sur des systèmes embarqués ayant pour cause un phénomène de leurrage